

**VULNERABILIDAD SÍSMICA INDICATIVA DE LAS VIVIENDAS
PROVENIENTES DE LOS PROGRAMAS DE REUBICACION DEBIDO A
INTERVENCIONES, EN EL BARRIO QUINTAS DE PANORAMA 1 PEREIRA**

JAROL AUGUSTO GONZALEZ CASTAÑEDA

**UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
PEREIRA
2012**

**VULNERABILIDAD SÍSMICA INDICATIVA DE LAS VIVIENDAS
PROVENIENTES DE LOS PROGRAMAS DE REUBICACION DEBIDO A
INTERVENCIONES, EN EL BARRIO QUINTAS DE PANORAMA 1 PEREIRA.**

JAROL AUGUSTO GONZALEZ CASTAÑEDA

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO CIVIL

**DIRECTOR
ING. PHD. LEONARDO CANO SALDAÑA**

**UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL
PEREIRA
2012**

Nota de aceptación:

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Pereira, 11 de Abril de 2012

AGRADECIMIENTOS

Son muchas las personas especiales a las que me gustaría agradecer su amistad, apoyo, ánimo y compañía en las diferentes etapas de mi vida. Algunos están aquí conmigo otros en mi recuerdos y en el corazón.

A Dios por darme la oportunidad de llegar hasta este punto, por brindarme salud y prestarme la vida para llegar a cumplir una de las metas propuestas.

A mi familia por haberme tenido paciencia y brindado su fortaleza en todo momento.

Agradezco a la Universidad Libre – Seccional Pereira, por la oportunidad que me brindó al realizar esta investigación en especial a la Facultad de Ingenierías, programa de Ingeniería Civil por permitirme iniciar una carrera y culminarla gracias a su excelente calidad humana y académica.

Agradezco el aporte del Trabajo de Grado de los Ingenieros Jairo Andrés Agudelo Calvo y Fabio Mauricio Upegüi Botero, quienes a través de sus conocimientos e investigación han hecho posible fundamentar y presentar mi proyecto de grado.

Agradecimientos muy especiales a mis maestros quienes aportaron el conocimiento y la paciencia para hacer posible este reto, en especial a mi Director de Tesis Ing. PhD. Leonardo Cano Saldaña, a quien tengo especial gratitud, a todos los docentes que me asesoraron, me brindaron lo mejor de cada uno de ellos y de sus conocimientos, sin duda sin ellos no habría sido posible la culminación con éxito de este nuevo logro.

DEDICATORIA

A mis padres por regalarme la vida y haber estado en todo momento, sus consejos y por estar ahí con su apoyo incondicional

A mi madre, por su paciencia porque supo entender mis momentos de estrés y ocupación para no compartir tiempo de calidad con ella, por sus palabras de ánimo cada que desfallecía a lo largo de estos años de carrera.

A mis compañeros y amigos por toda la paciencia y buenos recuerdos que aportan a mi vida, a lo largo de estos años de universidad, han sido muchas las personas que pasaron por mi vida y de una u otra manera han dejado un impacto significativo.

RESUMEN

Este trabajo de grado denominado “VULNERABILIDAD SÍSMICA INDICATIVA DE LAS VIVIENDAS PROVENIENTES DE LOS PROGRAMAS DE REUBICACION DEBIDO A INTERVENCIONES, EN EL BARRIO QUINTAS DE PANORAMA 1 PEREIRA” contiene los resultados del análisis de vulnerabilidad sísmica indicativa y el índice de daños obtenido mediante la metodología empleada en el trabajo de grado (Agudelo C. & Upegui B, 2004), y el programa de evaluación de pérdidas percal metodología empleada por Juan Diego Jaramillo, la cual consta de varias fases como: 1. La evaluación de la problemáticas que se vienen desarrollando a través del tiempo, 2. Hacer un inventario y clasificación de las viviendas, 3. Identificar las características del suelo y la geología, 4. Evaluación de la amenaza sísmica, 5. Determinar la vulnerabilidad sísmica indicativa mediante el programa percal el cual consiste en una simulación por computador para cuantificar escenarios de pérdidas económicas y de vidas debido a eventos sísmicos, 6. Identificar de manera gráfica las características de las viviendas, el tipo de suelo y los resultados arrojados de la evaluación del programa percal.

La evaluación de la problemática que se ha estado desarrollando a través del tiempo en el sector, para ser objeto de investigación. En el caso de la ciudad de Pereira la cual se encuentra en zona alta de amenaza sísmica, hemos decidido estudiar el estado en que se encuentran las viviendas objetos de programas de reubicación, en el municipio de Pereira, en el sector de quintas panorama 1. Tomando como referencia las diferentes modificaciones y ampliaciones de tipo estructural, que se le ha realizado a cada vivienda a través del tiempo, para así evaluar las condiciones estructurales en las que se encuentran, logrando determinar el grado de vulnerabilidad sísmica indicativa en la que se encuentran este sector, ante un eventual sismo.

ABSTRAC

This degree work called "VULNERABILIDAD SÍSMICA INDICATIVA DE LAS VIVIENDAS PROVENIENTES DE LOS PROGRAMAS DE REUBICACION, DEBIDO A INTERVENCIONES EN EL BARRIO QUINTAS DE PANORAMA 1 PEREIRA" (indicative seismic vulnerability of the relocation programs housing projects due to interventions in the neighborhood *Quintas de Panorama 1 Pereira*) contains the results of indicative seismic vulnerability analysis and the index of damages obtained through the methodology used in the degree work "*Agudelo C. & Upegui B, 2004*", and the loss evaluation program methodology PERCAL, employed by Juan Diego Jaramillo, which consists of several phases, such as: 1. Evaluating the problematic that has been developing over time, 2. Make an inventory and classification of the houses 3. Identify the characteristics of soils and geology, 4. Evaluating of seismic hazard, 5. Determine the indicative seismic vulnerability using the PERCAL program, which consists of a computer simulation to quantify life and economic loss scenarios due to seismic events, 6. Develop a model, which allows graphically identifying the houses, soil type characteristics and the results obtained in the evaluation of the PERCAL program. The evaluation of the problem that has been developing in the area over time is the hypothesis. Due to the circumstances of the city of Pereira, which is in a high seismic risk zone, we have decided to study the conditions of the relocation programs housing projects in the city of Pereira, in the *Quintas de Panorama* neighborhood. Using for reference the different structural and enlarging modifications, which have been made to each household over time, in order to evaluate the current structural conditions, thus finding the degree of indicative seismic vulnerability in this area, in case of a possible earthquake.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION.....	21
1. TITULO.....	24
2. ANTECEDENTES DE LA URBANIZACION QUINTAS DE PANORAMA 1	25
3. DESCRIPCION DEL PROBLEMA	26
4. JUSTIFICACIÓN.....	27
5. OBJETIVO GENERAL	29
5.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	29
6. HIPÓTESIS	30
7. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	31
8. DELIMITACIÓN DEL PROYECTO.....	32
9. MARCO REFERENCIAL	33
9.1 ASPECTOS GENERALES.....	33
9.1.1 Riesgo Sísmico.....	33
9.1.2 Peligrosidad Sísmica	34
9.2 EVALUACIÓN DE LA SISMICIDAD.....	45
9.3 INTENSIDAD	45
9.4 MAGNITUD	46
9.5 MOMENTO SÍSMICO	47
9.6 CONCEPTOS DE AMENAZA Y VULNERABILIDAD	48
9.6.1 Amenaza Sísmica.....	48
9.6.2 Vulnerabilidad	50

9.7 ACCION DE LOS TERREMOTOS EN LAS ESTRUCTURAS.....	55
9.7.1 Daños Estructurales.....	56
9.7.2 Daños No Estructurales	56
10. MARCO METODOLÓGICO	57
10.1 TIPO DE INVESTIGACION.....	57
10.2 METODOS CUALITATIVOS	57
10.2.1 Problemas Asociados Con Los Métodos Cualitativos	57
10.3 MÉTODO COMPUTACIONAL DE CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR SISMO PERCAL	58
10.4 METODOLOGIA PLANTEADA PARA LA EVALUCION DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA	60
10.4.1 Programa Percal Versión Millenium	62
10.5 TÉCNICAS EMPLEADAS PARA LA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	62
10.6 MODELO DE AMENAZA SÍSMICA.....	64
10.6.1 Espectro De Respuesta De Aceleración	64
10.6.2 Vulnerabilidad Física.....	65
11. APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA AL SITIO EN ESTUDIO	89
11.1 CALCULO DE LA AMENAZA SÍSMICA	89
11.1.1 Evaluación Probabilística De La Amenaza Sísmica	89
11.2 ECUACIONES DE ATENUACION	97
11.3 ECUACIONES DE LONGITUD DE RUPTURA	98
11.3.1 Evaluación De La Amenaza Sísmica	102
11.3.2 Sismos Característicos Acordes A La Amenaza Del Sitio	105

11.4 INVENTARIO Y CLASIFICACION DE ESTRUCTURAS	108
11.5 CALCULO DEL RIESGO SISMICO	113
11.5.1 Análisis De Pérdidas Producidas Por Un Sismo Cercano con A: 280 Gales	113
11.5.2 Análisis De Pérdidas Producidas Por Un Sismo Intermedio Con A: 180 Gales	124
11.5.3 Análisis De Pérdidas Producidas Por Un Sismo Lejano Con A: 50 Gales	147
12. CONCLUSIONES	159
13. RECOMENDACIONES.....	162
BIBLIOGRAFIA.....	163

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Registro de Sismos Históricos Notables del Viejo Caldas	43
Tabla 2. Resumen de la Intensidad MM.....	46
Tabla 3. Matrices Principales de Archivo. Gen para el Cálculo de Pérdidas por Sismo del Programa PERCAL	59
Tabla 4. Espectros de Diseño	69
Tabla 5. Factores de Participación de la Masa del Último Nivel en la Masa Total.	72
Tabla 6. Factores de Corrección por el Peso de la Cubierta	72
Tabla 7. Matriz de UMON Calibrada	74
Tabla 8. Relación de Índices de Daño con el Estado Discreto del Daño EERI 1996	79
Tabla 9. Matriz de Relación entre el Índice de Daño y la Vulnerabilidad para Sistemas Aporticados	79
Tabla 10. Matriz Relación entre el Índice de Daño y la Vulnerabilidad para Sistemas de Bahareque y Mampostería	79
Tabla 11. Fuentes de Fallas Geológicas	91
Tabla 12. Variables Utilizadas para la Caracterización de las Estructuras	109
Tabla 13. Distribución del Número de Edificaciones Inventariadas según las Variables Enunciadas Anteriormente.....	110
Tabla 14. Pérdidas Asociadas Al Tipo Estructural Producidas por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales.....	113
Tabla 15. Pérdidas Asociadas Al Periodo De Construcción por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales	115

Tabla 16. Pérdidas Asociadas Al Uso De La Construcción por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales	115
Tabla 17. Pérdidas Asociadas Al Número De Pisos por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales	116
Tabla 18. Pérdidas Asociadas Al Tipo De Suelo por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales	117
Tabla 19. Correlación De Pérdidas Según Número De Pisos y Tipo Estructural por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales	118
Tabla 20. Correlación De Pérdidas Según Tipo De Estructura Y Tipo De Suelo por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales	120
Tabla 21. Pérdidas Asociadas Al Tipo Estructural por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales	121
Tabla 22. Pérdidas Asociadas Al Número De Pisos por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales	122
Tabla 23. Pérdidas Asociadas Al Tipo De Suelo por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales	123
Tabla 24. Análisis de Pérdidas Producidas por Un Sismo Intermedio Aa: 180 Gales, Asociadas al Tipo Estructural	124
Tabla 25. Pérdidas Asociadas al Periodo de Construcción por Un Sismo Intermedio Aa: 180 Gales	126
Tabla 26. Pérdidas Asociadas al Uso por Un Sismo Intermedio Aa: 180 Gales ..	126
Tabla 27. Pérdidas Asociadas Al Número De Pisos por Un Sismo Intermedio Aa: 180 Gales	127
Tabla 28. Pérdidas Asociadas Al Tipo De Suelos por Un Sismo Intermedio Aa: 180 Gales	128

Tabla 29. Correlación Pérdidas Entre Tipo Estructural y Número de Pisos por Un Sismo Intermedio Aa: 180 Gales	129
Tabla 30 Correlación Pérdidas Entre Tipo Estructural y Suelos 180 Gales	131
Tabla 31. Pérdidas Asociadas Al Tipo Estructural por Un Sismo Intermedio Aa: 180 Gales	132
Tabla 32. Pérdidas Asociadas Al Número De Pisos – Predios del Sector por Un Sismo Intermedio Aa: 180 Gales	134
Tabla 33. Pérdidas Asociadas Al Tipo De Suelo – Predios del Sector por Un Sismo Intermedio Aa: 180 Gales	135
Tabla 34. Análisis de Pérdidas Producidas Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales	136
Tabla 35. Pérdidas Asociadas Al Periodo De Construcción Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales	137
Tabla 36. Pérdidas Asociadas Al Uso Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales....	138
Tabla 37. Pérdidas Asociadas Al Número De Pisos Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales	139
Tabla 38. Pérdidas Asociadas al Tipo de Suelos Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales	140
Tabla 39. Correlación Pérdidas Entre Tipo Estructural y Número de Pisos Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales	141
Tabla 40. Correlación Pérdidas Entre Tipo Estructural y Suelos Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales	142
Tabla 41. Correlación Entre Tipo Estructural y Número De Pisos En M ² Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales	143
Tabla 42. Pérdidas Asociadas al Tipo Estructural Por un Sismo Intermedio a: 50 Gales	144

Tabla 43. Pérdidas Asociadas Al Número De Pisos Por un Sismo Intermedio a: 50 Gales	145
Tabla 44. Pérdidas Asociadas Al Tipo De Suelo Por un Sismo Intermedio a: 50 Gales	146
Tabla 45. Análisis de Pérdidas Producidas por Un Sismo Lejano con A: 50 Gales	147
Tabla 46. Pérdidas Asociadas al Periodo de Construcción, Producidas Por Un Sismo Lejano Con A: 50 Gales	148
Tabla 47. Pérdidas Asociadas al Uso, Producidas Por Un Sismo Lejano Con A: 50 Gales	149
Tabla 48. Pérdidas Asociadas al Número de Pisos, Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales	150
Tabla 49. Pérdidas Asociadas al Tipo de Suelos Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales	151
Tabla 50. Correlación Pérdidas Entre Tipo Estructural y Número de Pisos, Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales	152
Tabla 51. Correlación Pérdidas Entre Tipo Estructural y Suelos, Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales	154
Tabla 52. Pérdidas Asociadas al Tipo Estructural Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales	155
Tabla 53. Pérdidas Asociadas al Número de Pisos Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales	156
Tabla 54. Pérdidas Asociadas al Tipo de Suelos Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales	157

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Mapa Georeferenciado Urbanización Quintas de Panorama 1.	31
Figura 2. Origen de Un Sismo	35
Figura 3. Origen de un Terremoto, Con su Proyección en la Superficie Terrestre	35
Figura 4. Conformación de las Placas Tectónicas	36
Figura 5. Tipos principales de falla, probados por un terremoto (Bolt.1999)	37
Figura 6. Mapa de Sismicidad global	38
Figura 7. Mapa de Peligrosidad Sísmica global (GSHAP, 1999).....	39
Figura 8. Sismicidad de Colombia de 2000. Registrada por la RSNC	41
Figura 9. Zonas de Amenaza Sísmica Colombia	42
Figura 10. Función de Vulnerabilidad Teórica.....	54
Figura 11. Formulario Para Inspección de Daños en Edificaciones Evaluación Estructural	63
Figura 12. Forma del Espectro Elástico de Diseño de las Dos Normativas (CCCSR-84 y NSR-98).....	71
Figura 13. Atenuación de la Aceleración $M_s = 6.5$	98
Figura 14. Comparación de Leyes de Atenuación y Aceleraciones Máximas Registradas en Roca para el Sismo Superficial del 25 de Enero de 1999 (Quindío)	99
Figura 15. Ecuaciones de Regresión para Determinar Magnitudes Máximas Probables a partir de Estimaciones de Longitud de Ruptura Superficial	100
Figura 16. Ecuaciones de Longitud de Ruptura para Fuentes Sismogénicas	101
Figura 17. Representación de los Sismos Asignados a los Diferentes Sistemas de Fallamiento	102
Figura 18. Aceleración máxima Esperada vs. Probabilidad de Excedencia	103

Figura 19. Aceleración local horizontal máxima probable en roca para Armenia Quindío.....	104
Figura 20. Acelerograma Sismo Armenia Enero 25 de 1999 Escalado a 0.28g Por Medio de EGF	106
Figura 21. Acelerograma sismo del Salvador con Aceleración de 0.18g.....	107
Figura 22 Acelerograma del sismo del salvador con Aceleración de 0.05g.....	107
Figura 23. Acelerograma del Sismo de Sep. 2 de 1997 Escalado a 0.05g mediante EGF	108
Figura 24. Figura. Distribución de Edificaciones Según Tipo Estructural	112

LISTA DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1. Distribución de Edificaciones Existentes Según el Número de Pisos.	111
Gráfico 2. Distribución de Edificaciones Existentes Según Tipología Estructural	112
Gráfico 3. Pérdidas Económicas por Tipo de Estructura Sismo Cercano con Aa: 280 Gales en Pesos	114
Gráfico 4. Pérdidas por Tipo de Estructura Sismo Cercano con Aa: 280 Gales en M ²	114
Gráfico 5. Pérdidas Asociadas al Periodo de Construcción en Pesos por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales.....	115
Gráfico 6. Pérdidas Asociadas al Uso de la Construcción en Pesos por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales.....	115
Gráfico 7. Pérdidas por Número de Pisos Sismo Cercano en Pesos por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales.....	116
Gráfico 8. Pérdidas por Número de Pisos Sismo Cercano en M ² por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales.....	116
Gráfico 9. Pérdidas Asociadas Al Tipo de Suelo en Pesos por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales	117
Gráfico 10. Pérdidas Asociadas Al Tipo de Suelo en M ² por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales.....	117
Gráfico 11. Correlación De Pérdidas Según Número De Pisos y Tipo Estructural En Pesos por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales	119
Gráfico 12. Correlación De Pérdidas Según Número De Pisos y Tipo Estructural En M ² por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales.....	119
Gráfico 13. Correlación De Pérdidas Según Tipo De Estructura Y Tipo De Suelo en Pesos por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales	120
Gráfico 14. Correlación De Pérdidas Según Tipo De Estructura y Tipo De Suelo en M ² por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales	121

Gráfico 15. Pérdidas Asociadas Al Tipo Estructural por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales	121
Gráfico 16. Pérdidas Asociadas Al Número De Pisos por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales	122
Gráfico 17 Pérdidas Asociadas Al Tipo De Suelo por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales	123
Gráfico 18. Análisis de Pérdidas Producidas por Un Sismo Intermedio Aa: 180 Gales, Asociadas al Tipo Estructural en Pesos.....	125
Gráfico 19. Análisis de Pérdidas Producidas por Un Sismo Intermedio Aa: 180 Gales, Asociadas al Tipo Estructural en M^2	125
Gráfico 20. Pérdidas Asociadas al Periodo de Construcción por Un Sismo Intermedio Aa: 180 Gales	126
Gráfico 21. Pérdidas Asociadas al Uso en Pesos por Un Sismo Intermedio Aa: 180 Gales	127
Gráfico 22. Pérdidas Asociadas Al Número De Pisos Sismo Intermedio Aa: de 180 Gales en Pesos	127
Gráfico 23. Pérdidas Asociadas Al Número De Pisos Sismo Intermedio Aa: de 180 Gales	128
Gráfico 24. Pérdidas Asociadas Al Tipo de Suelos en Pesos por Un Sismo Intermedio Aa: 180 Gales	128
Gráfico 25. Pérdidas Asociadas Al Tipo de Suelos en M^2 por Un Sismo Intermedio Aa: 180 Gales.....	129
Gráfico 26. Correlación Pérdidas Entre Tipo Estructural y Número de Pisos por Un Sismo Intermedio Aa: 180 Gales en Pesos.....	130
Gráfico 27. Correlación Pérdidas Entre Tipo Estructural y Número de Pisos en M^2 por Un Sismo Intermedio Aa: 180 Gales.....	130
Gráfico 28. Correlaciones de Pérdidas Según Tipo de Suelo y Tipo de Estructura Para Sismo Intermedio 180 Gales en Pesos	131
Gráfico 29. Correlaciones De Pérdidas Según Tipo De Suelo Y Tipo De Estructura Para Sismo Intermedio 180 Gales en M^2	132

Gráfico 30. Pérdidas Asociadas Al Tipo Estructural por Un Sismo Intermedio Aa: 180 Gales	133
Gráfico 31. Pérdidas Asociadas Al Número De Pisos – Predios del Sector por Un Sismo Intermedio Aa: 180 Gales	134
Gráfico 32. Pérdidas Asociadas Al Tipo De Suelo – Predios del Sector por Un Sismo Intermedio Aa: 180 Gales	135
Gráfico 33. Análisis de Pérdidas Producidas Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales – Estructura en Pesos	136
Gráfico 34. Análisis de Pérdidas Producidas Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales – Estructura en M^2	137
Gráfico 35. Pérdidas Asociadas Al Periodo De Construcción en Pesos Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales	138
Gráfico 36. Pérdidas Asociadas Al Uso en Pesos Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales	138
Gráfico 37. Pérdidas Asociadas Al Número De Pisos en Pesos Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales	139
Gráfico 38. Pérdidas Asociadas Al Número De Pisos en Pesos Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales	139
Gráfico 39. Pérdidas Asociadas al Tipo de Suelos en Pesos Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales	140
Gráfico 40. Pérdidas Asociadas al Tipo de Suelos Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales en Pesos	140
Gráfico 41. Correlación Pérdidas Entre Tipo Estructural y Número de Pisos en Pesos Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales	141
Gráfico 42. Correlación Pérdidas Entre Tipo Estructural y Número de Pisos en Pesos Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales	142
Gráfico 43. Correlación Entre Tipo Estructural y Número De Pisos En Pesos Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales	143
Gráfico 44. Correlación Entre Tipo Estructural y Número De Pisos En M^2 Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales	143

Gráfico 45. Pérdidas Asociadas al Tipo Estructural Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales	144
Gráfico 46. Pérdidas Asociadas Al Número De Pisos Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales	145
Gráfico 47. Pérdidas Asociadas Al Tipo De Suelo Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales	146
Gráfico 48. Análisis de Pérdidas Producidas por Un Sismo Lejano con Aa: 50 Gales en Pesos	147
Gráfico 49. Análisis de Pérdidas Producidas por Un Sismo Lejano con Aa: 50 Gales en M ²	148
Gráfico 50. Pérdidas Asociadas al Periodo de Construcción, Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales	149
Gráfico 51. Pérdidas Asociadas al Periodo de Construcción, Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales en Pesos	149
Gráfico 52. Pérdidas Asociadas al Número de Pisos, Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales en Pesos	150
Gráfico 53. Pérdidas Asociadas al Número de Pisos, Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales en M ²	150
Gráfico 54. Pérdidas Asociadas al Tipo de Suelos Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales en Pesos	151
Gráfico 55. Pérdidas Asociadas al Tipo de Suelos Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales en M ²	151
Gráfico 56. Correlación Pérdidas Entre Tipo Estructural y Número de Pisos, Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales en Pesos.....	152
Gráfico 57. Correlación Pérdidas Entre Tipo Estructural y Número de Pisos, Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales en M ²	153
Gráfico 58. Correlación Pérdidas Entre Tipo Estructural y Suelos, Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales en Pesos.....	154
Gráfico 59. Correlación Pérdidas Entre Tipo Estructural y Suelos, Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales en M ²	155

Gráfico 60. Pérdidas Asociadas al Tipo Estructural Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales.....156

Gráfico 61. Pérdidas Asociadas al Número de Pisos Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales.....157

Gráfico 62. Pérdidas Asociadas al Tipo de Suelos Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales.....158

INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen sistemas de parametrización y monitoreo de los lugares con mayor actividad volcánica en el mundo, sin embargo todo este tipo de mecanismos hacen parte de un sistema incompleto dada las magnitudes de la fuerzas geológicas, pues aun no es posible para el hombre manipular o prevenir con exactitud este tipo de eventos de la naturaleza ni mucho menos modificar.

La única alternativa disponible para la disminución del Riesgo Sísmico en zonas urbanas existentes, consiste en la búsqueda de estrategias adecuadas para medir la Vulnerabilidad de las estructuras de la zona (estudios de microzonificación sísmica) al igual que un plan de ordenamiento territorial debidamente ejecutado en las áreas permitidas para construcciones urbanas.

La auto-construcción y la falta de un seguimiento riguroso de las especificaciones estructurales, hace que la evaluación de su comportamiento ante sismos futuros sea más difícil e incierta.

Este trabajo de grado tiene como objetivo la evaluación de la **VULNERABILIDAD SÍSMICA INDICATIVA DE LAS VIVIENDAS PROVENIENTES DE LOS PROGRAMAS DE REUBICACION DEBIDO A INTERVENCIONES, EN EL BARRIO QUINTAS DE PANORAMA 1 PEREIRA**, mediante las simulación de sismos el programa computacional de pérdidas PERCAL MILENIUM, una idea básica muy aproximada de cómo es la vulnerabilidad y como se verá afectadas las viviendas por los posibles sismos que puedan ocurrir en la ciudad, haciendo una aproximación de las pérdidas materiales, económicas y de vidas.

Es de vital importancia no solo tener claro las pérdidas materiales, si no establecer las medidas adecuadas de prevención y mitigación para dichos eventos, articuladas con las entidades de gobierno y todos los organismos correspondientes para brindar a todos los habitantes de dicho sector la suficiente educación y cobertura.

También inciden directamente sobre esta problemática las condiciones del terreno, la capacidad de drenaje del mismo y los materiales de construcción, siendo un factor detonante la disponibilidad de recursos de los habitantes para completar las construcciones con todas las normas sismo resistentes, teniendo en cuenta su origen, vivienda de interés social no terminada.

Por medio de la metodología utilizando como herramienta El programa PERCAL MILLENIUM se pretende dar una evaluación de vulnerabilidad y perdidas predio a predio; posteriormente arroja datos de vulnerabilidad y pérdidas por manzana haciendo una ponderación de pesos por área de los predios que corresponden a la manzana.

Es preciso sentar un precedente de concientización en la comunidad para mejorar la construcción ante un inminente desastre, el cual se puede prevenir con las medidas correspondientes en las estructuras de las viviendas y la mejoras de otros factores, para mitigar las posibles pérdidas, pues es claro que no poseemos ni los recursos económicos ni tecnológicos para manipular estos eventos de origen natural y no solo evitar pérdidas materiales si no humanas.

1. TITULO

VULNERABILIDAD SÍSMICA INDICATIVA DE LAS VIVIENDAS PROVENIENTES DE LOS PROGRAMAS DE REUBICACION DEBIDO A INTERVENCIONES, EN EL BARRIO QUINTAS DE PANORAMA 1 PEREIRA.

2. ANTECEDENTES DE LA URBANIZACIÓN QUINTAS DE PANORAMA 1

El sector en que se realizara el proyecto de vulnerabilidad sísmica indicativa viene de ser una reubicación, hecha por la administración municipal, la cual consistió en hacer una urbanización de aproximadamente ciento trece viviendas las cuales fueron distribuidas en tres manzanas, con amplias zonas de parqueaderos comunales, zonas verdes, andenes y zonas de juegos infantiles. La urbanización se encuentra ubicada en el barrio cuba sector de panorama sobre la vía cuba huertas calle 70 N° 41-51.

La cimentación de las estructuras consiste en una viga corrida con una sección de 30 Cm x 30 Cm, en las cuales se instaló una canasta de acero de tres octavos de pulgada ($3/8$ ") y flejes de un cuarto de pulga ($1/4$ "), para los muros se utilizó el sistema de "muros vaciados en concreto" de un espesor de siete cm, con malla electro soldada. Cabe anotar que el muro medianero es compartido por las viviendas, inicialmente se entregó contando con una placa de entrepiso maciza la cual cuenta con un espesor de diez cm, de igual manera para el piso de la vivienda una placa de concreto con un espesor de siete cm. El proyecto inicialmente fue asignado como una vivienda básica la cual contaba con un área de 23,2 m², con un espacio de sala comedor, una alcoba, un baño y patio para futuras ampliaciones, en un lote de 4,2m de frente por 10 metros de fondo para un total de 42 m² de lote. "como lo documenta el escrito hecho por el manual del usuario quintas de Panorama 1 etapa".

Después de entregada la construcción, la urbanización ha sido objeto de diversas ampliaciones y modificaciones estructurales de diferentes tipos. Lo cual es directamente proporcional al poder adquisitivo de las familias, pues al visitar el sector se aprecian edificaciones de dos, tres y cuatro pisos.

Esta población fue reubicada en esta área para dar una solución a la problemática de vulnerabilidad, sin tener en cuenta el espacio necesario para familias numerosas, pues antes de ser reubicados, contaban con viviendas de menor calidad pero con un mayor espacio (en metros cuadrados). Desde ahí se origina la inconformidad de la población por el espacio entregado inicialmente, ocasionando un afán por terminar la construcción con los recursos disponibles a su alcance, esto en función de la capacidad económica de cada familia, provocando con ello que no se tenga en cuenta de manera oportuna las características físicas y dinámicas de dichas intervenciones en las viviendas como materiales y conformación estructural.

3. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Debido a que la ciudad de Pereira se encuentra en zona alta de amenaza sísmica, hemos decidido estudiar el estado en que se encuentran las viviendas objetos de programas de reubicación, en el municipio de Pereira, en el sector de quintas Panorama 1. Tomando como referencia las diferentes modificaciones y ampliaciones de tipo estructural, que se le ha realizado a cada vivienda a través del tiempo, para así poder evaluar las condiciones estructurales en las que se encuentran, logrando determinar el grado de vulnerabilidad sísmica indicativa en la que se encuentran este sector, ante un eventual sismo de gran magnitud.

4. JUSTIFICACIÓN

Colombia está localizada dentro de una de las zonas sísmicas más activas del planeta, la cual se denomina Anillo Circumpacífico y corresponde a los bordes del Océano Pacífico. El emplazamiento tectónico de Colombia es complejo pues en su territorio convergen la placa de Nazca, la placa Suramericana y la placa Caribe. Debido a ello Colombia ha sido sometida a una serie de movimientos sísmicos, que ha dado como resultado víctimas humanas y daños en edificaciones.

De acuerdo con los estudios realizados para la determinación del grado de amenaza sísmica de las diferentes regiones del país, se encontró que alrededor de 12 millones de colombianos de 475 municipios se encuentran en zonas de amenaza sísmica alta, es decir el 35% de la población; aproximadamente 17 millones de habitantes de 435 municipios localizados en zonas de amenaza sísmica intermedia, equivalentes al 51% de la población del país; y aproximadamente 5 millones de habitantes en 151 municipios localizados en zonas de amenaza sísmica baja, es decir el 14% del total de la población. En otras palabras, el 86% de los colombianos se encuentran bajo un nivel de riesgo sísmico apreciable, que no sólo depende del grado de amenaza sísmica sino también del grado de vulnerabilidad que en general tienen las edificaciones en cada sitio.¹

Teniendo en cuenta los datos de Jaramillo², el 80% de las construcciones existentes en las ciudades colombianas son autoconstruidas, no siguieron ningún código de construcción.

Así mismo se puede asegurar según estadísticas del Proyecto de Campos³, que las edificaciones de 1 y 2 pisos son las que más daños han sufrido ocasionados por los sismos en ciudades como Popayán y Quindío⁴

Debido a que nuestra región se encuentra en una zona de alto riesgo sísmico, suelos blandos con un alto contenido por cenizas volcánicas y fragilidad estructural en las viviendas, debido al no uso responsable de los parámetros de la norma de sismo resistencia.⁵ A ello le agregamos las condiciones de poca favorabilidad a la que quedan expuestas las familias de bajos recursos ante un eventual desastre natural producto de un sismo, se puede diagnosticar una

¹Agudelo, J. Upegui, f. (2004) Evaluación Del Riesgo Sísmico Para La Zona Centro De La Ciudad De Armenia (Quindío). Universidad Del Quindío.

²JARAMILLO, Juan Diego. Percal, Un Modelo de Vulnerabilidad Urbana y Escenarios de Pérdidas

³CAMPOS, A., (1996). Sismicidad histórica del área Pereira-Dos Quebradas-Santa Rosa de Cabal. Informe final sismicidad histórica, Proyecto de Mitigación de Riesgo Sísmico de Pereira - Dos Quebradas y Santa Rosa de Cabal. CARDER, Pereira, 40 p. inédito.

⁴ESPINOSA, A., (1996b). "Simicidad histórica del área Pereira-Dos Quebradas-Santa Rosa de Cabal. Informe final sismicidad histórica", Proyecto de Mitigación de Riesgo Sísmico de Pereira - Dos Quebradas y Santa Rosa de Cabal. CARDER, Pereira, 40 p. inédito.

⁵INGEOMINAS (Instituto Nacional de Investigaciones en Geociencia, Minería y Química). El sismo de Popayán de 31 de Marzo de 1983. Santafé de Bogotá: INGEOMINAS,1986

catástrofe a gran escala, ocasionando daños, pérdidas materiales y pérdidas humanas.

Las estructuras entregadas por la entidad contratante, eran de un área mucho menor a las anteriores, ocasionando a estas familias la necesidad de ampliar de alguna forma rápida sin tomar en consideración los distintos parámetros de construcción reglamentarios. Las edificaciones estructuralmente cumplían con la norma, pero no satisfacían las necesidades de la comunidad. La entidad encargada de la reubicación entregaba una cuarta parte de la construcción total de la vivienda, al igual que un manual de recomendaciones de cómo construir las posibles ampliaciones en el resto de la edificación, recomendaciones que posiblemente no acogieron los reubicados, puesto que al visitar la zona se encuentran modificaciones y ampliaciones no acordes al diseño inicial, ni tampoco semejantes a las sugerencias según el manual de la entidad constructora.

Por las condiciones antes mencionadas es objeto de estudio la vulnerabilidad sísmica indicativa, (pérdidas económicas y en metros cuadrados de cada estructura) en el barrio quintas de panorama 1 en la ciudad de Pereira, haciendo un estudio de vulnerabilidad que nos facilite establecer las condiciones en las que se puedan encontrar estas viviendas ante un eventual sismo de gran magnitud.

5. OBJETIVO GENERAL

Examinar la evolución constructiva de las viviendas del barrio quintas de panorama 1 Objeto de reubicación, para determinar el estado actual de las viviendas y las condiciones de vulnerabilidad sísmica en las que se puedan encontrar producto de las modificaciones generadas a través del tiempo.

5.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar un inventario sobre las características (edad, número de pisos, tipo de materiales, tipo de cubierta, uso, estrato socioeconómico, calidad de construcción y configuración estructural) de las edificaciones del sector Quintas de Panorama 1.
- Definir las características más relevantes de la estructura de manera tal que se pueda determinar su vulnerabilidad sísmica indicativa.
- Establecer parámetros para determinar el riesgo y grado de vulnerabilidad en que se encuentran las viviendas del sector anteriormente mencionado.
- Clasificar las edificaciones de la zona en estudio de acuerdo a su tipología estructural, detalles constructivos, materiales de las que están construidas, estado de conservación, año de construcción, irregularidades en planta o altura, y número de pisos.
- Ubicar en un mapa georeferenciado de la urbanización Quintas de Panorama 1 las posibles zonas más vulnerables ante la amenaza sísmica.

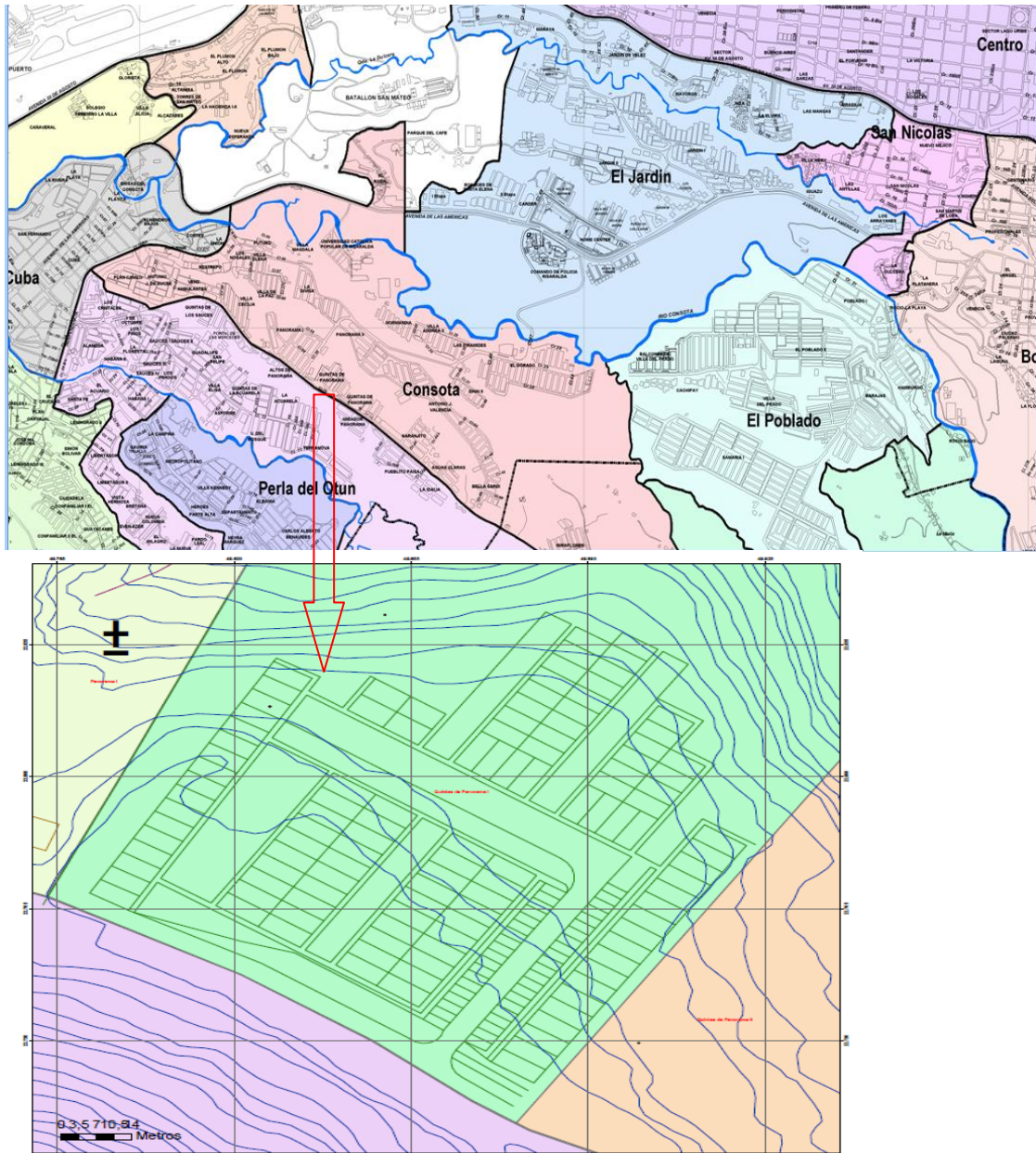
6. HIPÓTESIS

A las comunidades se les entrega una vivienda, cumpliendo con la normatividad sismo resistente vigente del país, pero de manera inconsulta los habitantes o moradores, realizan intervenciones sobre las edificaciones, sin contar con el apoyo o asesoría profesional, que les permitan que dichas intervenciones continúen dentro de la normatividad sismo resistente. Lo que ocasiona que las construcciones al no hacer las intervenciones de forma adecuada, hacen que la estructura presente vulnerabilidad sísmica.

7. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El lugar donde vamos a efectuar el estudio está ubicado en el municipio de Pereira (Risaralda) en el barrio Quintas De Panorama 1. La urbanización se encuentra ubicada en el barrio cuba sector de panorama sobre la vía cuba huertas calle 70 N° 41-51.

Figura 1. Mapa Georeferenciado Urbanización Quintas de Panorama 1.



Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi

8. DELIMITACIÓN DEL PROYECTO

El trabajo de grado se desarrollara con limitaciones de tiempo, ya que se requiere hacer un inventario riguroso de cada una de las estructuras, teniendo en cuenta el posible no ingreso a algunas viviendas en su interior y a la no respuesta oportuna de la solicitud hecha a la curaduría 1 de Pereira, para la obtención de información. Como también la solicitud hecha a la oficina de catastro municipal, para la obtención de las fichas prediales del sector.

Este trabajo pretende determinar la vulnerabilidad indicativa en la que se encuentra el barrio Quintas de Panorama 1, de la ciudad de Pereira. Y el cálculo de las posibles pérdidas que se puedan presentar por consecuencia de un sismo.

Para este tipo de estudio no se cuenta con metodología única, ya que en el país y a nivel mundial se cuenta con gran diversidad sismológica y de tipologías constructivas. Es por eso que para este tipo de trabajos se aplica una filosofía basada en la "modelación y simulación" ante movimientos sísmicos.

Este trabajo se realizara con el propósito de prevención, atención y mitigación del riesgo sísmico, la toma de conciencia y planificación para la atención de posibles emergencias originadas por sismos en el Barrio Quintas de Panorama 1. Para este trabajo no se consideran las pérdidas indirectas generados por los daños en la industria y el comercio, ni las pérdidas generadas por efectos colaterales ocasionados por los sismos como deslizamientos, licuación de suelos, avalanchas o inundaciones, ni incendios.

9. MARCO REFERENCIAL

9.1 ASPECTOS GENERALES

9.1.1 Riesgo Sísmico. Uno de los campos que recientemente ha tomado mayor interés dentro de la ingeniería sísmica mundial ha sido la evaluación anticipada de pérdidas y daños que pueden esperarse de sismos en el futuro, dada la importancia que un análisis de esta naturaleza tiene para una ciudad, una región o un país. Estimar las pérdidas potenciales que puede producir un terremoto es una tarea difícil pero fundamental para estimular y generar medidas de prevención y mitigación. Un amplio número de métodos ha sido propuesto para estimar pérdidas de futuros terremotos entre los cuales pueden encontrarse inconsistencias significativas. Sin embargo, aunque no es posible predecir actualmente con "precisión" cuándo y dónde va a ocurrir un terremoto, cuántas víctimas causará y qué daños causará en la amplia variedad de edificios de diferentes edades y características, si es posible realizar aproximaciones y estimativos que indiquen la naturaleza y la magnitud del problema que tendrá que afrontar una ciudad o una región, razón por la cual este tipo de estudios se han convertido en ineludibles y necesarios para la planificación en zonas propensas a sismos.⁶ Estos estudios, conocidos corrientemente como métodos para la evaluación del riesgo sísmico de centros urbanos, consideran diferentes maneras para evaluar la amenaza sísmica y utilizan matrices o funciones de vulnerabilidad empírica o teórica para diversos tipos de edificios y componentes de la infraestructura de una ciudad.

Una vez revisados los conceptos de Amenaza Sísmica y Vulnerabilidad Sísmica se puede observar que existe una relación directa entre ellos, es decir, para que exista verdaderamente riesgo sísmico en un lugar, ambos conceptos deben producirse y existir respectivamente, es decir, el riesgo sísmico evalúa y cuantifica las consecuencias sociales y económicas potenciales provocadas por un terremoto, como resultado de la falla de las estructuras cuya capacidad resistente fue excedida.

Matemáticamente el riesgo es función de la amenaza por la vulnerabilidad:

$$R = f(A.V)$$

Riesgo = Amenaza Sísmica x Vulnerabilidad

Riesgo Sísmico “son las consecuencias sociales y económicas potenciales provocadas por un terremoto, como resultado de la falla de estructuras cuya capacidad resistente fue excedida por un terremoto”.

⁶CARDONA, O.D. (2001). “Estimación Holística del Riesgo Sísmico Utilizando Sistemas dinámicos Complejos” Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. Según Capítulo 4 Pág. 80

Peligrosidad Sísmica “es la probabilidad de que ocurra un fenómeno físico como consecuencia de un terremoto, provocando efectos adversos a la actividad humana. Estos fenómenos además del movimiento de terreno pueden ser, la falla del terreno, la deformación tectónica, la licuefacción, inundaciones, tsunamis, etc.”.

Vulnerabilidad Sísmica “es un valor único que permite clasificar a las estructuras de acuerdo a la calidad estructural intrínseca de las mismas, dentro de un rango de nada vulnerable a muy vulnerable ante la acción de un terremoto”.

Por lo tanto, se puede observar que el Riesgo Sísmico depende directamente de la peligrosidad, es decir, los elementos de una zona con cierta peligrosidad sísmica pueden verse afectados en menor o mayor medida dependiendo del grado de vulnerabilidad sísmica que tengan, ocasionando un cierto nivel de Riesgo Sísmico del lugar.

A continuación se hacen descripciones más detalladas de cada una de anteriores definiciones, donde se muestran los conceptos generales de la Peligrosidad Sísmica, la Vulnerabilidad Sísmica y de qué forma se relacionan para obtener el Riesgo Sísmico.

9.1.2 Peligrosidad Sísmica. Como se mencionó en la definición anterior, la peligrosidad sísmica es la probabilidad de que ocurra un fenómeno físico como consecuencia de un terremoto, como pueden ser el movimiento mismo del terreno, así como la licuefacción, los deslizamientos de tierra, inundaciones, ruptura de fallas, etc., a los que llamaremos efectos colaterales de un terremoto. El tamaño y localización de estos efectos colaterales dependerán de diversos factores, principalmente de las características geológicas y geotécnicas del lugar, pero indudablemente de las características del terremoto (hipocentro, mecanismo, intensidad, magnitud, duración, contenido frecuencia, etc.).⁷

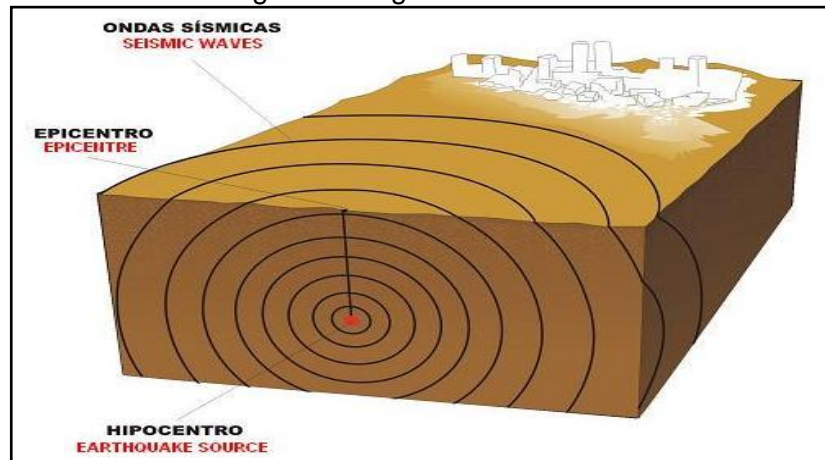
9.1.3. Sismicidad. Actualmente el avance científico ha permitido mejorar el conocimiento acerca del origen, evaluación del tamaño y forma de propagación, entre otras características, de los terremotos dentro de la corteza terrestre. Los terremotos ocurren cuando el esfuerzo en la tierra alcanza un nivel mayor a la resistencia de la roca, causando que los lados opuestos de la misma fallen repentinamente o se deslicen violentamente pasando de un lado a otro. Estos esfuerzos pueden actuar perpendicularmente a la falla empujando las rocas entre ellas, o paralelamente a la falla moviendo las rocas unas contra otras. La resistencia de la falla está relacionada con el tamaño de estos esfuerzos y el coeficiente de fricción del material que la forma, cuando se acumula un esfuerzo

⁷ CORREA, N. NARVAEZ, L. (2000). “El papel de la degradación ambiental en la construcción histórica del riesgo sísmico en la cuenca de la quebrada Egoyá un análisis de la vulnerabilidad sísmica social”. CARDER. Pereira.

suficientemente grande para sobrepasar la resistencia de la falla, puede ocurrir un terremoto produciéndose un chasquido en las rocas perdiendo el equilibrio y liberando la energía almacenada en forma de ondas sísmicas, las cuales mueven las rocas a su alrededor.⁸

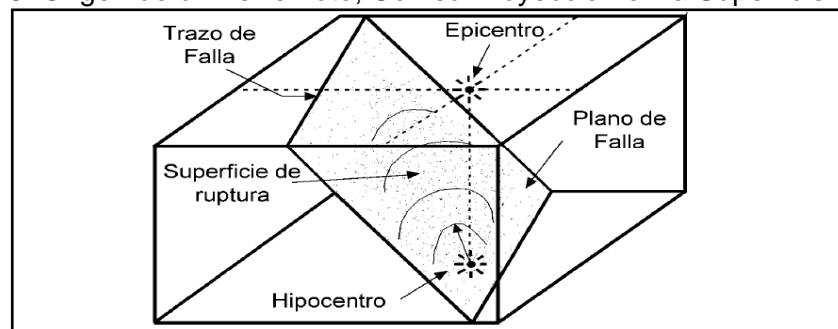
9.1.3.1. Origen de un Sismo. El punto en el interior de la Tierra donde se libera la energía de los movimientos de las placas es el **hipocentro**. Allí se localiza el origen del terremoto. A partir de ese punto el terremoto se propaga en forma de **ondas sísmicas** y llegan a la superficie. El primer punto de la superficie terrestre al que llegan las ondas sísmicas, justo por encima del hipocentro, es el **epicentro**. Es el lugar de máxima intensidad en la superficie. Cuando el epicentro se sitúa bajo el agua del mar, se producen los **maremotos**, que generan grandes olas denominadas **tsunamis**.⁹

Figura 2. Origen de Un Sismo



Fuente: BONILLA MANUEL J.

Figura 3. Origen de un Terremoto, Con su Proyección en la Superficie Terrestre



Fuente: NYFFENEGGER, 1997

⁸ "El papel de la degradación ambiental en la construcción histórica del riesgo sísmico en la cuenca de la quebrada Egoyá un análisis de la vulnerabilidad sísmica social". CARDER. Pereira.

⁹ SARRIA, A. (1995). "INGENIERIA SÍSMICA". Ediciones Uniandes. Bogota. Según [100]

El tiempo total del movimiento causado por un terremoto está relacionado con la longitud del tiempo necesario para que la ruptura progrese a lo largo de la superficie de ruptura completa.¹⁰

Los terremotos son grandes sacudidas en la corteza terrestre originadas por el movimiento de las placas tectónicas. Normalmente suelen ocurrir en los límites entre las placas.

Figura 4. Conformación de las Placas Tectónicas



Fuente: P. J. Adams, J. B. Allen, & J. G. Cook, Bermudo Meléndez

El sismógrafo es el aparato para medir la magnitud (fuerza) de los terremotos. Una de las escalas más conocidas para medir la magnitud de los terremotos es la escala de Richter. Esta escala mide la fuerza de los terremotos de 1 a 9 según el grado de destrucción que causan.¹¹

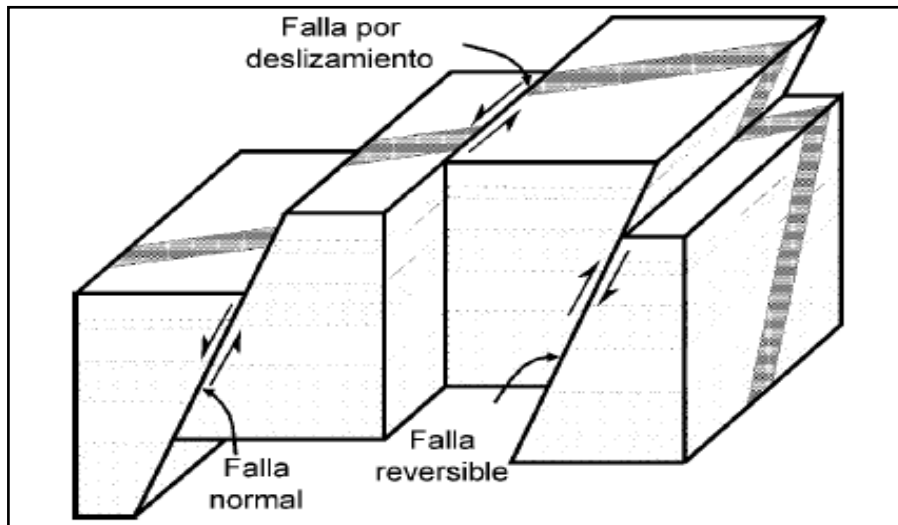
9.1.3.2 Tipos De Fallas. Existen tres tipos principales de fallas que pueden ocurrir ya sea en la superficie de la Tierra o dentro de los Océanos, estas pueden ser: falla por deslizamiento, que corresponde a un desplazamiento horizontal relativo por los dos lados de la falla que normalmente suele tener un plano de falla vertical; una falla reversible o por compresión, en la cual las fuerzas por compresión causan una falla por cortante forzando que la parte superior continúe elevándose y la falla normal o por extensión, esta falla es la inversa de la anterior, las deformaciones por extensión jalen los bloques superiores hacia abajo del plano de falla inclinado.¹²

¹⁰ Nyffenegger, 1997

¹¹ SARRIA, A. (1995). "INGENIERIA SÍSMICA". Ediciones Uniandes. Bogota. Según [100]

¹² MENA, U. (2002). "Evaluación del Riesgo Sísmico en Zonas Urbanas". Tesis Doctoral

Figura 5. Tipos Principales de Falla, Probados por Un Terremoto



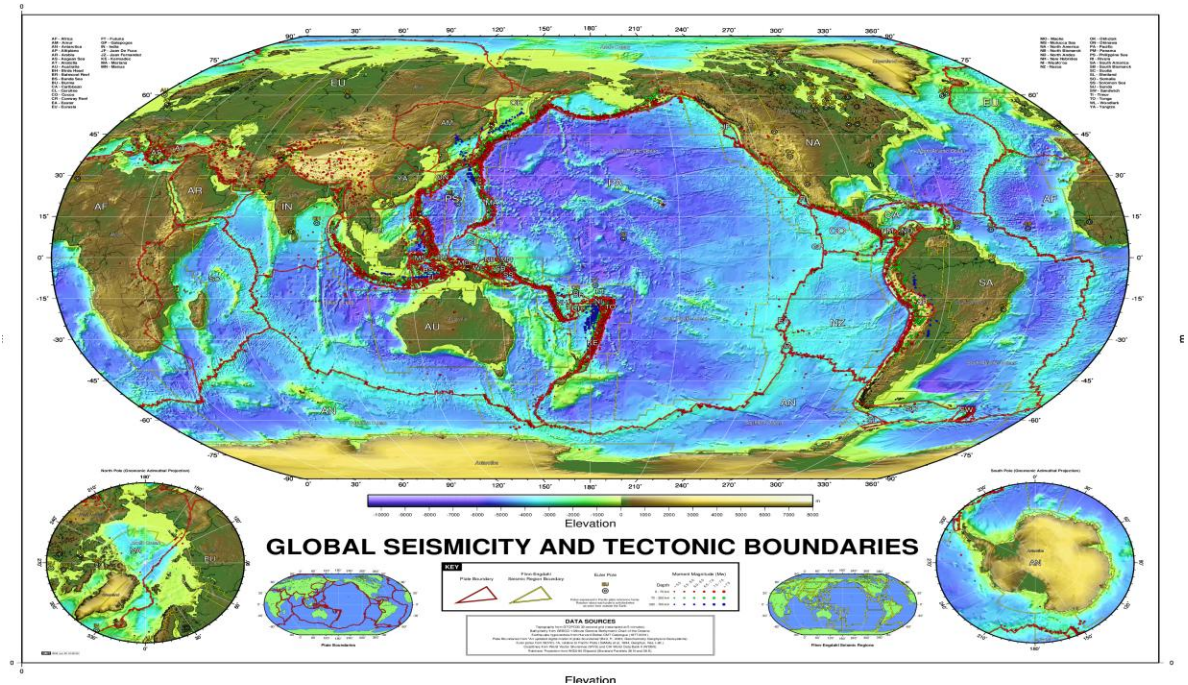
Fuente: Bolt.1999

9.1.3.3 Sismicidad Global. La localización del origen de un terremoto se puede calcular por medio de las ondas sísmicas leídas en los diferentes observatorios sismográficos del mundo. Basándose en esta información se han podido elaborar mapas con la distribución uniforme de los terremotos alrededor de la Tierra, se puede observar claramente un cinturón de actividad sísmica separando grandes regiones oceánicas y continentales, con interesantes excepciones en regiones donde los terremotos son nulos.¹³

La distribución geográfica de los terremotos en el planeta muestra zonas de la Tierra con una mayor actividad sísmica, siendo la primera el denominado cinturón Circum-Pacífico, que comprende toda la parte oeste del continente americano, desde Alaska hasta el sur de Chile y desde la parte norte de las islas Aleutianas, siguiendo por todas las islas del Japón hasta Indonesia y Nueva Zelanda. La segunda zona denominada Mediterráneo – Himalaya se extiende desde las islas Azores al sudoeste de la Península Ibérica, pasando por Italia, Grecia, Turquía, Persia llegando hasta el Himalaya y norte de la India y de China. Finalmente, la tercera zona está formada por cordilleras submarinas que dividen el Atlántico en dos partes, la del Índico y la del Pacífico, frente a las costas occidentales de América del Sur. Los estudios de sismicidad de estas regiones han servido para confirmar la teoría de la tectónica de placas y la formación de los continentes.

¹³ BARBAT, A.H. (1998) "El Riesgo Sísmico en el Diseño de Edificios". Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona.

Figura 6. Mapa de Sismicidad global



Fuente: Global Seismic Hazard Assessment Program – 1999

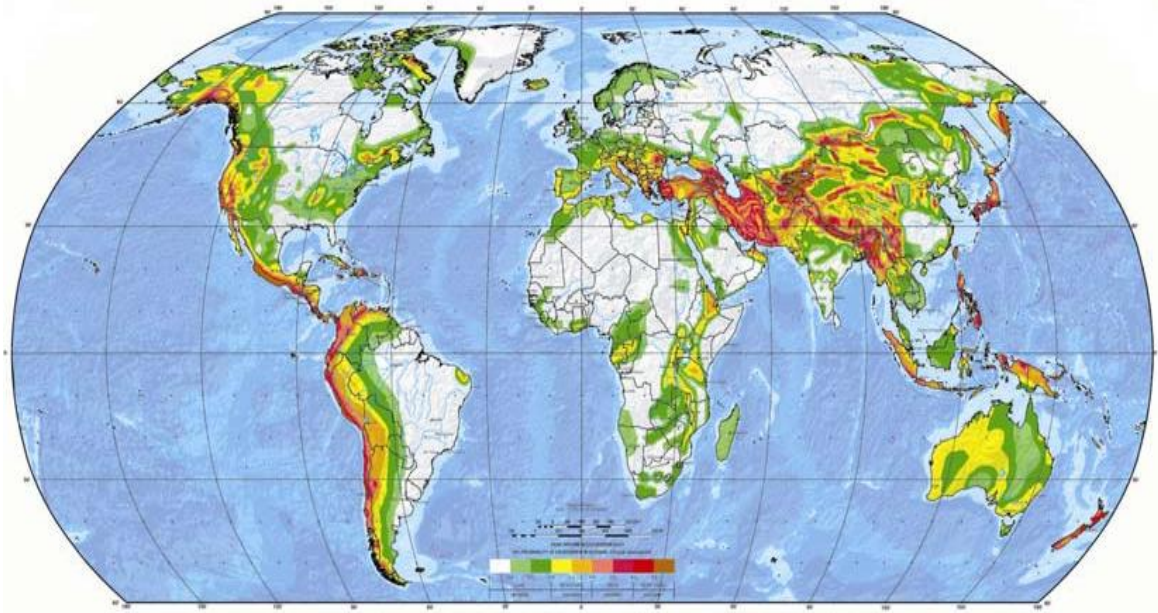
En esta figura se muestran los terremotos ocurridos a partir de 1966, con magnitud superior a 6, en la escala Richter. (Bolt, 1999).

Uno de los trabajos más recientes sobre mapas de peligrosidad sísmica, fue el proyecto piloto desarrollado por el Programa de Evaluación de Peligrosidad Sísmica Global (GSHAP, 1999) en la Década Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales, declarada por la ONU. Este trabajo se desarrolló uniendo mapas parciales elaborados por las diferentes regiones y áreas de prueba. El mapa describe la aceleración máxima del terreno (en unidades pga, por sus siglas en inglés) con un 10% de probabilidad de excedencia en 50 años, correspondiente a un periodo de retorno de 475 años. La clasificación del suelo en general se consideró roca a excepción de Canadá y EE.UU., donde se supone que las condiciones del suelo correspondían a un suelo rocoso – firme. El mapa dibuja los niveles probables del movimiento del terreno en una escala de colores de menor probabilidad (blanco) a mayor probabilidad (oscuro).

Los colores del mapa se eligieron para delinear aproximadamente la peligrosidad correspondiente al nivel actual de la misma. El color más claro representa una peligrosidad baja, mientras que el más intenso, representa una alta peligrosidad. Específicamente, el blanco y verde corresponde a valores entre 0 – 8% g (en donde, g es la aceleración de la gravedad); el amarillo y el naranja corresponden a una peligrosidad moderada entre 8 y 24% g ; el color rosa y rojo corresponde a una peligrosidad alta entre 24 y 40% g y el rojo oscuro y café corresponde a una

peligrosidad muy alta, con valores superiores al 40% de g. En general, los sitios con peligrosidad alta ocurren en áreas delimitadas por las diferentes placas, como se ha comentado anteriormente.¹⁴

Figura 7. Mapa de Peligrosidad Sísmica global



Fuente: Global Seismic Hazard Assessment Program -1999

9.1.3.4 Sismicidad en Colombia. Colombia se localiza geográficamente en la esquina noroccidental de Suramérica. Esta zona se caracteriza por presentar una estructura tectónica compleja, ya que en ella convergen tres placas litosféricas: la Placa de Nazca localizada en el Océano Pacífico, la Placa Caribe en el Mar Caribe y la Placa Suramericana en la zona continental. Esta junta triple ha estado presente durante los últimos 5 millones de años (m.a). Estas tres placas se desplazan con velocidades y sentidos diferentes; en el caso de Colombia, las Placas de Nazca y del Caribe se mueven bajo la Placa Suramericana en un proceso denominado subducción. Este proceso tiene características diferentes para cada uno de los casos: la Placa de Nazca se mueve hacia el este, mientras que la Placa Caribe se desplaza hacia el sureste, a una velocidad menor que la de la Placa de Nazca.¹⁵

Además de la existencia de estas tres placas, dos bloques adicionales o micro placas se han sugerido para explicar la complejidad tectónica del área donde convergen las placas principales: el Bloque de Panamá y el Bloque Andino. Este último se extiende desde la costa Pacífica hasta el borde Oriental de la Cordillera

¹⁴ . MENA, U. (2002). "Evaluación del Riesgo Sísmico en Zonas Urbanas". Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona.

¹⁵ INGEOMINAS, (RSNC) "MAPA DE SISMICIDAD DE COLOMBIA DE 2000".

Oriental, donde está limitado por el Sistema de Fallas del Borde Llanero. Este bloque se mueve hacia el noreste con respecto a la Placa Suramericana.

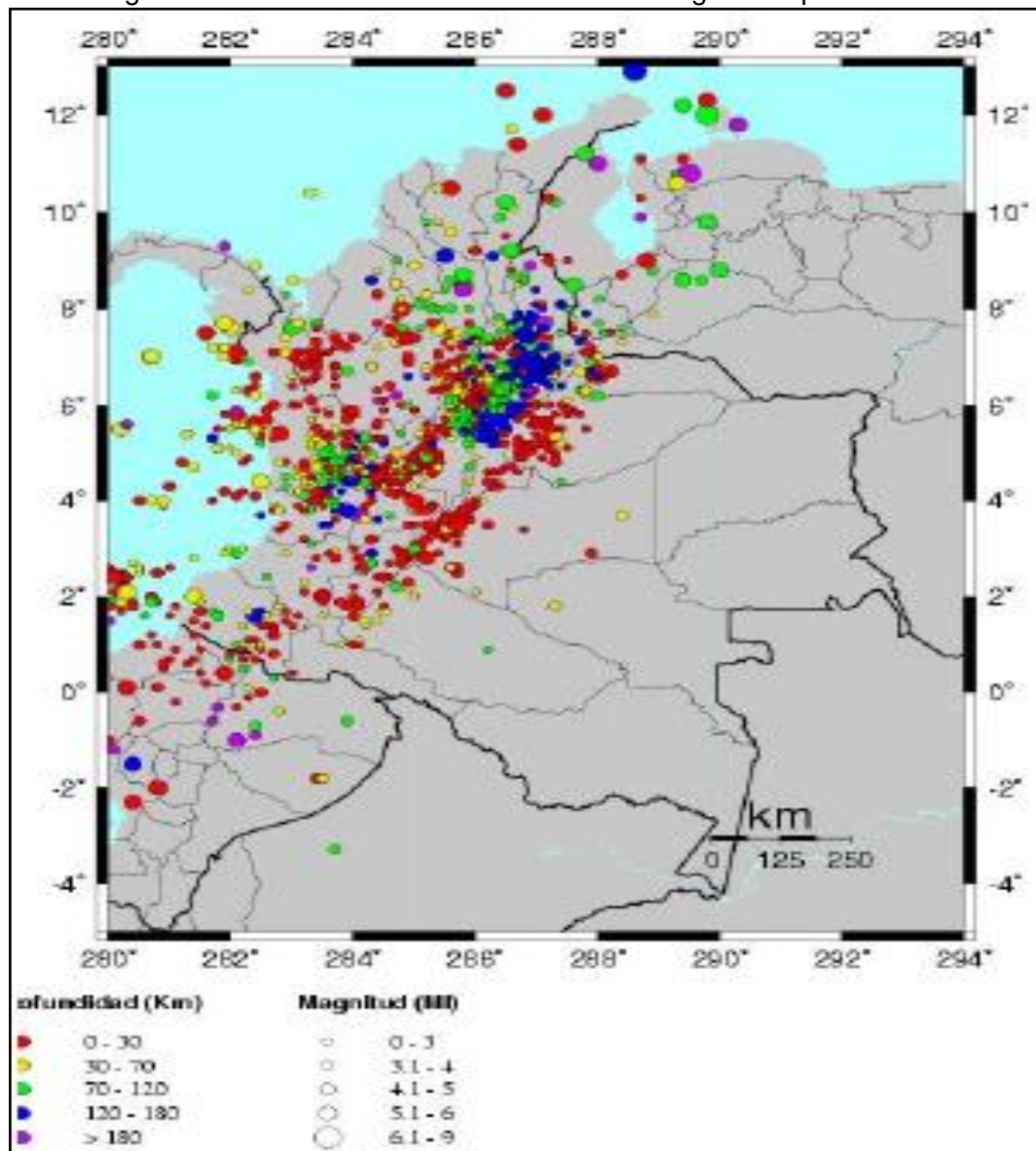
Este proceso tectónico, generó la configuración del actual relieve colombiano, de acuerdo con el cual pueden distinguirse las siguientes zonas:

- Zona de los Llanos Orientales y Amazonía: localizada al oriente y suroriente del país. De naturaleza siálica, es decir, compuesta principalmente de silicio y aluminio, se considera como autóctono original (o sea material formado inicialmente en su lugar a partir del cual se comienzan a adicionar nuevos terrenos) y está constituida por una masa de rocas estable, denominada Escudo Guayanés que no ha sufrido cambios considerables desde su formación en la era Precámbrica (hace 4500-650 m.a.). La sismicidad en esta zona es muy baja. Su límite occidental corresponde a la Falla del Borde Llanero.
- Zona de elevaciones montañosas y valles intermontanos: se ubica al occidente de los Llanos Orientales y Amazonía, y comprende gran parte de la región Andina. Igualmente de composición siálica, se concentran en esta zona la mayor parte de las fallas geológicas activas, lo cual está en directa relación con la presencia de la mayor cantidad de epicentros de sismos en Colombia. En esta región se presenta lo que se conoce como Nido Sísmico de Bucaramanga, un fragmento de corteza en movimiento el cual como producto del choque de placas, causa una sismicidad profunda ubicada entre los 120 a 170 Km. y que es bastante notable en el presente mapa en el departamento de Santander. Su límite oeste es la Falla o Paleosutura (antigua ruptura) de Romeral.
- Zona occidental: constituida por material simático (silicio y magnesio), el cual fue acrecionado o adicionado al borde occidental de la actual Cordillera Central como resultado de un proceso de subducción a finales del Jurásico (hace 200 m.a.). A partir de la Paleosutura de Romeral, la cual corresponde a su límite este, se encuentran cinturones de este material cada vez más jóvenes hacia el occidente. La sismicidad es superficial en su parte occidental, y se va profundizando hacia el oriente, lo cual se ve muy bien en la zona del Eje Cafetero, donde los hipocentros pueden alcanzar profundidades mayores a 160 Km.
- Archipiélago de San Andrés y Providencia: Localizado en el Mar Caribe, a unos 700 Km. al noroeste de la costa Caribe Colombiana. Su origen se asocia con el fracturamiento de la Placa Caribe y posterior separación de las Placas de América Central y del Caribe. Aunque la actividad sísmica en esta zona ha sido escasa, particularmente la Isla de San Andrés, parece ubicarse dentro de una zona sísmicamente activa, donde pueden generarse sismos con magnitudes apreciables.

- Islas de Gorgona y Malpelo: el origen de la primera estaría asociado con una dorsal oceánica, mientras que la segunda representaría una porción de corteza oceánica gruesa. En esta zona la actividad sísmica es principalmente superficial y se produce por efectos de la corteza oceánica en colisión con el continente.¹⁶

El mapa que muestra la sismicidad registrada por la Red Sismológica Nacional de Colombia durante el año 2000.

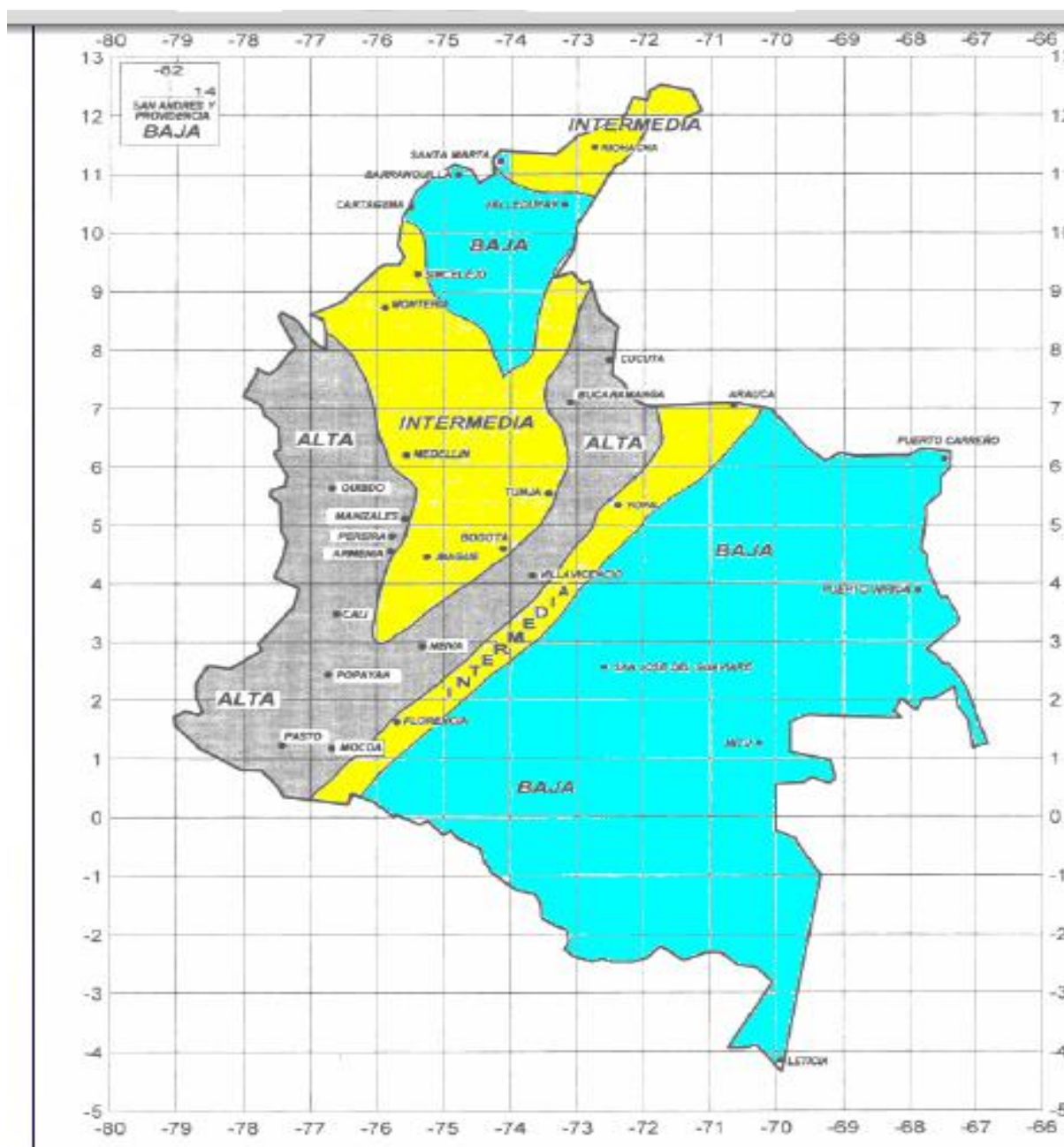
Figura 8. Sismicidad de Colombia de 2000. Registrada por la RSNC



Fuente: INGEOMINAS 2004

¹⁶ INGEOMINAS, (RSNC) "MAPA DE SISMICIDAD DE COLOMBIA DE 2000", Bogotá, Diciembre de 2000.

Figura 9. Zonas de Amenaza Sísmica Colombia



Fuente: INGEOMINAS 2004

9.1.3.5 Sismicidad De La Zona Cafetera. Manizales, Pereira y Armenia, se encuentran situadas sobre el flanco occidental de la Cordillera Central de Colombia, habiendo sido azotadas por multitud de eventos sísmicos mayores desde su fundación. Las fuentes sismo génicas a las cuales se asocian los sismos registrados en estas ciudades son de carácter variable, destacándose los sismos

provenientes de la zona de subducción del Pacífico y los sismos asociados con las fallas activas de corteza que recorren las cordilleras colombianas.

La Tabla 1 Presenta un resumen de los sismos históricos más importantes de los que tiene algún tipo de reporte para la zona del eje cafetero. Los sismos asociados con la subducción han producido históricamente los mayores daños en el conjunto de la zona cafetera, con valores de intensidad iguales o mayores a VII.

Los sismos superficiales de la zona cafetera están asociados a las fuentes sismo génicas locales, e históricamente han generado daños en vecindad de la zona epicentral. En el último siglo se han identificado 19 sismos con intensidad igual o mayor que V. Solo dos de ellos tiene carácter local y los demás han afectado a toda la región. Los datos disponibles arrojan un promedio de un sismo con algún tipo de daño cada 5 años aproximadamente.

En el último siglo, doce eventos fueron sentidos en un grado de intensidad de VI en alguna zona de la región, de los cuales nueve tuvieron intensidad igual o mayor que VII y cinco tuvieron intensidad igual o mayor que VIII. Las mayores intensidades (VIII MSK) se han registrado durante eventos sísmicos asociados con la subducción de Nazca, y cuyos epicentros están en la zona cafetera.¹⁷

Tabla 1. Registro de Sismos Históricos Notables del Viejo Caldas

FECHA			EPICENTRO	LAT N	LONG W	PROFUNDIDAD	INTENSIDAD	MAGNITUD
AÑO	MES	DÍA						
1785	Julio	12	Páramo de Chingaza (Cund.)	4.7	73.8	30	IX	7.0
1827	Noviembre	16	Queb. Santa Ana (Cauquetá)	2.0	75.9	10	X	7.7
1875	Mayo	19	Cúcuta (Norte de Santander)	7.9	72.5	20	X	7.7
1878	Febrero	9	Parque Nacional de los Nevados	4.8	75.5	25	VII	-----
1878	Septiembre	9	Parque Nacional de los Nevados	4.8	75.5	-----	VIII	-----
1885	Mayo	25	N-E Popayán (Cauca)	2.5	76.5	20	IX	-----
1906	Enero	31	O. Pacífico (lim Col-Ecua)	2.4	79.3	25	X	8.6
1917	Agosto	31	Páramo de Sumapaz (Cund.)	4.3	74.2	40	IX	7.3
1923	Diciembre	22	Miraflores (Boyacá)	5.2	73.2	20	IX	-----
1924	Enero	10	Cartago	4.7	76.1	-----	VI	-----
1925	Junio	7	Yotoco (Valle)	3.9	76.4	170	VII-VIII	-----
1938	Febrero	4	Neira - Aranzazu - Filadelfia	5.4	75.6	90	VIII	-----
1961	Diciembre	20	Ansermanuevo - Balboa	4.8	76.0	40	VII	-----
1962	Julio	30	Pereira - Cartago	4.8	75.7	69	VIII	-----
1967	Febrero	9	Vegalarza (Huila)	2.9	74.8	26	IX	-----
1973	Abril	3	Finlandia	4.7	75.7	146	VII	-----
1973	Abril	24	Santa Rosa de Cabal	4.9	73.6	19	VII	-----
1979	Noviembre	23	El Cairo (Valle)	4.8	76.2	105	VIII	5.5
1986	Noviembre	29	San José del Palmar (Chocó)	5.1	76.7	90	V-VI	5.5
1990	Noviembre	23	Pijao - Roncesvalles	4.3	75.4	129	V	-----
1991	Noviembre	19	Desembocadura del Río San Juan (Chocó)	4.5	77.5	104	IX	-----
1992	Octubre	18	Murindó (Chocó)	7.1	76.8	33	X	7.3
1995	Febrero	8	Calima (Valle)	4.1	76.7	100	VII	6.6
1995	Agosto	19	Apia	4.6	75.4	118	VI	4.7
1999	Enero	25	Córdoba (Quindío)	4.3	75.6	35	VIII	6.2

Fuente: CARDER UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO – ESPINOSA A. (1996)

¹⁷ RUBIANO, D.M., RODRIGUEZ, E., ALVARADO, C.A., (1999). "Modelación Dinámica del subsuelo y Zonificación Sismogeotécnica Indicativa de Armenia" X Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería Colombiana.

9.1.3.6 Sismicidad De Pereira. Según Espinosa el estudio de sismicidad histórica, los sismos que han afectado a Pereira desde su fundación con intensidad igual o mayor a VI son siete.¹⁸ De ellos solamente uno fue superficial, los demás fueron profundos y provienen de las regiones sismogénico cuya actividad puede afectar a Pereira, y en consecuencia el área de estudio puede clasificarse según sus características, así:

- La zona de subducción frente al litoral pacífico, caracterizada por eventos superficiales de magnitudes extremas con distancias focales mínimas respecto a Pereira de 200 Km aproximadamente, como el terremoto del 31 de enero de 1906(magnitud: 8.6) y el sismo del 12 de diciembre de 1979 (magnitud: 7.9), los dos mayores durante este siglo en Colombia.
- La zona Wadatti – Benioff. localizada bajo las cordilleras occidental y central. Con eventos de profundidades intermedias y distancias focales entre 60 y 150 Km, como ocurridos en julio de 1962 (magnitud: 6.7), noviembre 23 de 1979 (magnitud: 6.6), y febrero 8 de 1995 (magnitud: 6.4). Esta fuente, históricamente ha generado los eventos que han causado los mayores daños en la zona.
- Los sistemas de fallas continentales, principalmente Cauca y Romeral, pueden clasificarse como fuentes cercanas y fuentes lejanas. Han producido sismos históricos de alta intensidad, como el de 1872 en el Huila (el más fuerte en la historia del país) y el de 1983 en Popayán.

En el viejo caldas durante su periodo de poblamiento, el cual no excede 150 años, no se había presentado un sismo superficial como el ocurrido el pasado 25 de enero 1999, sin embargo dicho potencial ya había sido definido en diversos estudios.

En la historia de la ciudad no han ocurrido sismos asociados a subducción con magnitudes mayores a 7.0 en la escala de Richter, ni superficiales mayores a 6.2 (sismo del 25 de enero de 1999). Sin embargo, según estudios de neotectónica y amenaza sísmica en el caso del sismo de subducción los máximos eventos serían del orden de 7.6y en el caso de los superficiales de 6.9. (Estudios de amenaza sísmica efectuados por AIS, 1996, INGEOMINAS – U, del Quindío, 1999 y Guzmán, et al 1997).

Se habla en este caso de una amenaza eminentemente natural, una amenaza sobre la cual el hombre no tiene incidencia ni en su origen ni en su ocurrencia.¹⁹

¹⁸ ESPINOSA, A., (1996b). "Sismicidad histórica del área Pereira-Dos Quebradas-Santa Rosa de Cabal. Informe final sismicidad histórica"

¹⁹ CORREA, N. NARVAEZ, L. (2000). "El papel de la degradación ambiental en la construcción histórica del riesgo sísmico en la cuenca de la quebrada Egoyá un análisis de la vulnerabilidad sísmica social".

9.2 EVALUACIÓN DE LA SISMICIDAD

Como se mencionó anteriormente, existen una gran cantidad de incertidumbres en la evaluación del movimiento del terreno o en lo que un terremoto específico puede generar en un sitio en particular y generalmente estas incertidumbres repercuten en la estimación de la peligrosidad sísmica del lugar. Los terremotos varían ampliamente en el tamaño o liberación de la energía, es decir, pueden ser desde pequeñas fracturas a grandes deslizamientos a lo largo de varios kilómetros en una falla. Un terremoto pequeño que ocurre a pocos kilómetros de la superficie, se puede detectar sin necesidad de instrumentos, pero un terremoto grande que ocurra a muchos kilómetros bajo la superficie, a veces sólo puede detectarse con ellos. Afortunadamente en las últimas décadas ha existido un avance en la sismología teórica y computacional que ha permitido reducir esta variabilidad en la evaluación de los movimientos del terreno. El tamaño de un terremoto se puede caracterizar por la intensidad, la magnitud o por el momento sísmico (magnitud sísmica), siendo quizás este último la caracterización más adecuada, debido a que está relacionado directamente con el producto del área de la ruptura de la falla y el desplazamiento promedio de la misma.²⁰

9.3 INTENSIDAD

En el área de la ingeniería sísmica a menudo se describen los efectos del movimiento del terreno sobre las estructuras construidas por el hombre en términos de intensidad, es decir, de una manera subjetiva ya que no depende de medidas instrumentales, sino de la información que un observador obtenga del daño o del movimiento producido por un terremoto. Sin embargo, la naturaleza subjetiva de la intensidad sísmica crea problemas para comparar los efectos de los terremotos evaluados durante diferentes épocas de estudio o por los efectos provocados por el terremoto. Por ejemplo, valores bajos de la intensidad dependen de lo que ha sentido la gente, valores medios dependen de la respuesta de las estructuras y valores altos describen lo que ha ocurrido cuando se produce la ruptura de una falla.²¹

Sin embargo, la naturaleza subjetiva de la intensidad sísmica crea problemas para Comparar los efectos de los sismos evaluados durante diferentes épocas de estudio o por los efectos provocados por el sismo. Por ejemplo, valores bajos de la intensidad dependen de lo que ha sentido la gente, valores medios dependen de la respuesta de las estructuras y valores altos describen lo que ha ocurrido cuando se produce la ruptura de una falla. Una de las escalas más utilizadas para medir la intensidad sísmica es la Mercalli Modificada, a partir de la cual se han desarrollado otras en el mundo.²²

²⁰ MENA, U. (2002). "Evaluación del Riesgo Sísmico en Zonas Urbanas". Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona

²¹ BARBAT, A.H. (1998) "El Riesgo Sísmico en el Diseño de Edificios". Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona.

²² SARRIA, A. (1995). "INGENIERIA SÍSMICA". Ediciones Uniandes. Bogotá.

Tabla 2. Resumen de la Intensidad MM

Intensidad	Calificación y descripción de los Efectos
I	Despreciable. Solo detectado por instrumentos
II	Sensible. Sentido por poca gente. Objetos colgados oscilan
III	Ligero. Pequeñas vibraciones
IV	Moderado. Sentido en Interiores. ruidos por adornos que se mueven
V	Algo Fuerte. La mayoría lo Sienten. Algo de Pánico. Daños menores
VI	Fuerte. Daños en Estructuras sin construcción Sismorresistente
VII	Muy Fuerte. La gente corre. Se presentan daños en construcciones de calidad y graves daños en casas de adobe.
VIII	Destructor. Graves daños en construcciones.
IX	Ruinoso. Graves daños en las construcciones de calidad. Destrucción casi total de construcciones no Sismorresistentes
X	Desastroso. Solo construcciones con diseño sismorresistente sobreviven.
XI	Desastroso. Pánico general. Destrucción casi total. Grietas en el terreno.
XII	Catastrófico. Destrucción Total.

Fuente: SARRIA, A. (1995). "INGENIERÍA SÍSMICA"

9.4 MAGNITUD

El concepto de magnitud lo introdujo por primera vez el Profesor Charles Richter en 1958, en California, definiéndolo como una medida cuantitativa del tamaño de un terremoto. Richter la relacionó indirectamente con la liberación de la energía la cual es independiente del lugar de observación. Actualmente, es la forma más usada para medir el tamaño de los sismos en todo el mundo, aunque no es la única. Se calcula a partir de la medición de la amplitud en un sismógrafo del tipo Wood-Anderson de torsión y se expresa en escala logarítmica en números reales. La escala que más se utiliza es la correspondiente a la magnitud local de Richter, denotada por M ó ML y que se define de la siguiente manera.²³

$$Ec \text{ No. 1: } ML = \log_{10} A - \log_{10} A_o$$

En donde:

ML es la magnitud local, calculada como la diferencia entre el logaritmo decimal de la amplitud y el logaritmo decimal de la amplitud estándar.

A es la amplitud máxima registrada de un terremoto a cierta distancia.

Ao es un terremoto particular seleccionado como estándar.

²³ RICHTER, Charles F. (1958). "Elementar y Seismology". W.H. Freeman and Company.

Para evaluar A_0 , se utiliza una curva estándar propuesta por Richter que tiene la siguiente expresión:

$$\text{Ec No. 2: } \log_{10} A_0 = 6.37 - 3 \log_{10} \Delta$$

En donde Δ es la distancia epicentral en Kilómetros. Sabiendo que la amplificación de la amplitud registrada era para ese caso 2800 veces la amplitud real de las partículas del terreno α debidas al terremoto, se sustituye en las ecuaciones 1 y 2 se obtiene:

$$\text{Ec No. 3: } ML = \log_{10} \alpha + 3 \log_{10} \Delta - 2.92$$

Es evidente que esta ecuación sólo es válida para la zona donde fue calculada y no puede aplicarse a otras regiones. Para esto se han desarrollado otras expresiones para calcular la magnitud, entre ellas se encuentran las de magnitud superficial (M_s), la magnitud de ondas internas (m_b), magnitud local (m_l), etc.

Por otra parte, aunque la magnitud se define como una medida cuantitativa de un terremoto, las diferentes formas de medirla arrojan en algunos casos valores diferentes, esto se debe a que las escalas de magnitud fueron diseñadas en un principio para una clase específica de sismogramas y para un tipo único de ondas. Por ejemplo las ondas de superficie crean grandes alteraciones, pero únicamente en la capa superior de la Tierra, quizás a pocos kilómetros de la superficie. Los terremotos poco profundos excitan especialmente grandes superficies, mientras que los profundos casi no generan ondas en la superficie. Por lo tanto la magnitud superficial (M_s), generalmente subestima el tamaño de los terremotos profundos. Por otra parte, la magnitud basada en las ondas internas se ha desarrollado tanto para los terremotos poco profundos como para los profundos.²⁴

9.5 MOMENTO SÍSMICO

El momento de un terremoto o momento sísmico M_0 es quizás el mejor parámetro que puede utilizarse para medir el tamaño de un terremoto. Mientras que la magnitud es una medida conveniente del tamaño de un terremoto determinado directamente de un sismograma, M_0 es una medida físicamente significativa del tamaño del terremoto sin estar sujeta a los problemas que se encuentran en la magnitud. De hecho, M_0 está directamente relacionado con los parámetros fundamentales del proceso de falla. Esta medida está siendo cada vez más usada por los sismólogos debido a su mayor fiabilidad. La relación entre el momento sísmico y cualquiera de las diferentes magnitudes no es inmediata, pero algunos autores utilizan un ajuste logarítmico lineal del tipo:

$$\text{Ec No. 4: } \log M_0 = a + b M$$

²⁴ MENA, U. (2002). "Evaluación del Riesgo Sísmico en Zonas Urbanas". Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona.

Para el cálculo del momento sísmico teniendo las características de la falla se usa la siguiente expresión:

$$M_0 = SDG (T \times m)$$

En donde:

M_0 = Momento Sísmico

S = Área de la Falla (largo por profundidad)

D = longitud del desplazamiento medio de la falla

G = Rigidez al cortante ($3E6 \text{ T/m}^2$).

9.6 CONCEPTOS DE AMENAZA Y VULNERABILIDAD

9.6.1 Amenaza Sísmica. Se entiende el término amenaza como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno, ya sea de origen natural o antropico, peligroso en un determinado tiempo y una determinada región.

Uno de los avances más importantes de la Ingeniería Sísmica durante la segunda mitad del siglo XX fue el desarrollo de metodologías para la estimación de la intensidad máxima que, en un período de tiempo, un movimiento sísmico podría llegar a registrar en una región sísmicamente activa. Estas metodologías se han refinado en los últimos años, dada su importancia para la recomendación de adecuados criterios de diseño sísmo resistente en la construcción de las nuevas edificaciones.²⁵

Debido a que no puede predecirse con certeza la manifestación de futuros terremotos, no puede modelarse el fenómeno sísmico en una forma simple y determinista. Sin embargo, con base en análisis estadísticos de terremotos en el pasado y su aceleración estimada para diferentes sitios, se puede obtener la probabilidad de ocurrencia de ciertas aceleraciones en el futuro. Reconociendo que muchos aspectos de los terremotos y su ocurrencia son desconocidos, se puede considerar este fenómeno como un proceso Probabilístico. Igualmente, la aceleración del suelo causada por los terremotos se puede entender como un proceso similar y por lo tanto se puede concluir que es posible aplicar un análisis estadístico. Para este análisis es necesario contar con un catálogo de eventos en el pasado que permita definir la distribución de las aceleraciones. Sin embargo, usualmente no se cuenta con un amplio inventario de registros de dichas aceleraciones en cada sitio. Por esta razón, ha sido necesario desarrollar modelos que permitan determinar el valor de aceleración probable en cada lugar de interés.

²⁵ CARDONA, O.D. (2001). "Estimación Holística del Riesgo Sísmico Utilizando Sistemas dinámicos Complejos". Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. Según Capítulo 4 pág. 30

Usualmente, las etapas para evaluar la amenaza sísmica de acuerdo con este enfoque son las siguientes:

- **Definición de Zonas Sísmicas:** Dado que no todos los sitios están caracterizados por tener una alta sismicidad. El primer paso en el proceso de análisis es definir las zonas potenciales donde se pueden generar fuertes terremotos. En la actualidad, es aceptado ampliamente que la ocurrencia de los terremotos y la localización de sus epicentros está relacionada con las propiedades tectónicas y el sistema de fallas geológicas de una región. Para la definición de las zonas sísmicas, por lo tanto, es necesario llevar a cabo la recolección de los datos existentes a cerca de las características sísmicas y tectónicas del sitio considerado.
- **Modelización Geométrica de las Fuentes Sísmicas:** La fuente de origen de los sismos puede considerarse como un volumen dentro de la tierra, sin embargo en muchos casos una de sus tres dimensiones puede ser bastante mayor. Los modelos de las fuentes de origen que se utilizan para el análisis normalmente son el punto, la línea, el círculo y el área. Esta modelización se justifica como una primera aproximación puesto que el error en sus resultados es comparable con el causado por la insuficiente cantidad de información y por la limitada definición de los parámetros de origen de los sucesos.
- **Modelización de la Ocurrencia Sísmica:** El fenómeno sísmico, tal como se mencionó, es un proceso discreto estocástico no estacionario en el tiempo que resulta muy complejo. Normalmente este fenómeno se modela como un proceso discreto estocástico simple, tal como las pruebas de Bernoulli, los procesos de Poisson o los procesos de Markov en dos estados. No obstante, el modelo más utilizado es el proceso estacionario estocástico de Poisson, por su simpleza y porque sus incertidumbres guardan consistencia con la falta de información y otras imprecisiones de la información.
- **Determinación de la Distribución de Magnitudes.** Puesto que el nivel de amenaza no sólo depende del número de veces que ocurre el fenómeno sino también de la magnitud del mismo, es necesario conocer la recurrencia de eventos con diferentes magnitudes. Para el efecto se utilizan expresiones empíricas de la relación entre frecuencia y magnitud obtenida para cada sitio.²⁶
- **Determinación de las Funciones de Atenuación.** Terremotos con diferentes magnitudes producen diferentes aceleraciones en un mismo sitio, así también terremotos con magnitudes iguales pueden producir diferentes aceleraciones del suelo a diferentes distancias. Sin embargo, el problema no es muy simple porque las aceleraciones no sólo dependen de la magnitud y la distancia sino

²⁶AGUDELO, J. UPEGUI, F. (2004) Evaluación del Riesgo Sísmico Para la Zona Centro de la Ciudad de Armenia (Quindío). Universidad del Quindío.

también por otros factores como las propiedades del medio por donde se propagan las ondas sísmicas, las propiedades locales del suelo en el sitio y la topografía. En la actualidad se aplican curvas promedio obtenidas del análisis estadístico de los catálogos de eventos que sólo son definidas en términos de la magnitud y la distancia hipocentral.²⁷

- **Evaluación de la Amenaza Sísmica.** Los parámetros que definen la amenaza sísmica son la función de distribución acumulada de probabilidad de los valores máximos del parámetro que expresa el movimiento del suelo, el período de retorno de los terremotos con diferentes intensidades y el nivel de probabilidad del máximo movimiento del suelo relacionado con el período de retorno. Las técnicas más utilizadas proveen un método para la integración de las influencias individuales de las fuentes potenciales de terremotos, lejos y cerca, más activas o menos, dentro de la distribución de probabilidad de valores máximos anuales. Una vez desarrollada una red de puntos de análisis en una región puede construirse un mapa que exprese la amenaza como contornos de igual aceleración pico con cierta probabilidad de no excedencia durante un tiempo determinado o como contornos de igual período de retorno para ciertos niveles máximos de aceleración pico del suelo.²⁸

En general la amenaza sísmica se podría expresar en términos de la aceleración pico del suelo, la velocidad pico, el espectro de respuesta, la duración de la excitación, el contenido frecuencial y todos aquellos parámetros que pueden afectar las estructuras después de cierto umbral. Uno de los parámetros más utilizados ha sido la intensidad en la Escala Modificada de Mercalli debido a que con ésta es posible asignar una intensidad a eventos históricos bien documentados e incluirlos en el catálogo de eventos ocurridos²⁹.

9.6.2 Vulnerabilidad. La vulnerabilidad define por su parte “las características de una persona o grupo desde el punto de vista de su capacidad para anticipar, sobrevivir, resistir y recuperarse del impacto de una amenaza. Implica una combinación de factores que determinan el grado hasta el cual la vida y la subsistencia de alguien quedan en riesgo por un evento distinto e identificable de la naturaleza o de la sociedad”.³⁰

La definición anterior hace referencia a la vulnerabilidad manifiesta como condiciones inseguras, sin embargo, en virtud de que estas condiciones han sido construidas a través del tiempo, las mismas remiten necesariamente a procesos

²⁷ AGUDELO, J. UPEGUI, F. (2004) Evaluación del Riesgo Sísmico Para la Zona Centro de la Ciudad de Armenia (Quindío). Universidad del Quindío.

²⁸ Ibid., p 89.

²⁹ CARDONA, O.D. (2001). “Estimación Holística del Riesgo Sísmico Utilizando Sistemas dinámicos Complejos”. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. Según Capítulo 4 pág. 80.

³⁰ BALIKIE, Piers et al. Vulnerabilidad, el entorno social, político y económico de los desastres. Colombia, 1996, p 45

sociales que permiten su generación, en estos términos la vulnerabilidad, solo puede entenderse como un fenómeno social.

El concepto de vulnerabilidad sísmica es indispensable en estudios sobre riesgo sísmico y para la mitigación de desastres por terremotos. Se entiende por riesgo sísmico, el grado de pérdidas esperadas que sufren las estructuras durante el lapso de tiempo que permanecen expuestas a la acción sísmica. A dicho lapso de tiempo se le denomina período de exposición o período de vida útil de la estructura. Por otra parte, la mitigación de los desastres, en el ámbito de la ingeniería, corresponde a la totalidad de las acciones que tienen como objetivo la mejora del comportamiento sísmico de los edificios de una zona, a fin de reducir los costes de los daños esperados durante el terremoto.³¹

Es evidente que para mitigar el riesgo sísmico de una zona, es necesario disminuir la amenaza, la vulnerabilidad y el costo de reparación de las estructuras afectadas. El conocimiento adecuado de la amenaza sísmica existente, permite definir tanto la acción que debe considerarse en el diseño de nuevas estructuras como el sitio donde pueden ser construidas, de tal forma que las condiciones de los emplazamientos sean óptimas, esto es: alejados de las fallas y los lugares con posibles asentamientos o deslizamientos y los de alto potencial de licuefacción. Sin embargo, poco puede hacerse para reducir la amenaza a la que están expuestas las estructuras existentes, por lo tanto, si se desea disminuir el riesgo, se requiere una intervención directa sobre la vulnerabilidad. El conocimiento del comportamiento sísmico de las estructuras, permite definir los mecanismos y acciones de refuerzo requeridos para la reducción de los efectos provocados por los movimientos del terreno. Para el caso de construcciones nuevas, pueden plantearse nuevos sistemas constructivos y/o nuevas filosofías de diseño que garanticen el buen desempeño de cada uno de los elementos expuestos.

9.6.2.1 Vulnerabilidad Física. La vulnerabilidad física está directamente relacionada con la capacidad que tiene la estructura para soportar las sollicitaciones a las que se ve sometida en el momento de un sismo, es decir, la forma con la cual responde ante los desplazamientos y los esfuerzos producidos por las fuerzas inerciales durante toda la vida útil de la edificación.

9.6.2.2 Vulnerabilidad Funcional. La vulnerabilidad funcional, está relacionada no solamente con la confiabilidad de la estructura sino que además tiene en cuenta el comportamiento de los elementos no estructurales, como por ejemplo, muros, equipos, instalaciones, divisiones, etc., lo cual es de suma importancia para el continuo funcionamiento de las edificaciones ante eventos de una magnitud importante. Es de especial interés el recalcar la importancia que tiene la

³¹ BARBAT, A.H. (1998) "El Riesgo Sísmico en el Diseño de Edificios"

vulnerabilidad funcional en las edificaciones que la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistentes, NSR-98, clasifica como edificaciones indispensables, ya que éstas tienen que seguir cumpliendo con su función después de ocurrido el sismo y cuya operación no puede ser trasladada rápidamente de un lugar a otro.³²

9.6.2.3 Elementos Susceptibles A Sufrir Daño. En viviendas de 1 y 2 pisos en mampostería, existen elementos susceptibles a sufrir daño ante movimientos sísmicos según la experiencia ganada a lo largo de la historia sísmica de Colombia. La Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, AIS, ha definido recientemente estos elementos susceptibles y que pueden tener efectos directos sobre la seguridad de la estructura. Dichos elementos son los siguientes: cubiertas, losas de entrepiso, muros sólidos de soporte, muros divisorios, vigas, dinteles y antepechos.³³

9.6.2.4 Aspectos Que Afectan La Vulnerabilidad Sísmica. De lo estudiado y observado en los sismos ocurridos en el territorio nacional, la AIS ha definido que la vulnerabilidad sísmica de las viviendas depende de una serie de factores y detalles que deben evaluarse con el mayor cuidado.³⁴ Estos aspectos contemplan los siguientes parámetros:

Aspectos Geométricos: Irregularidad en planta de la edificación, Cantidad de muros en las dos direcciones, Irregularidad en altura.

Aspectos Constructivos: Calidad de las juntas de pega en mortero, Tipo y disposición de los ladrillos, Calidad de los materiales.

Aspectos Estructuras: Muros confinados y reforzados, Detalles de columnas y vigas de confinamiento, Vigas de amarre o corona, Características de las aberturas, Tipo y disposición del entrepiso, Amarre de cubiertas.

Suelos: Blandos, Intermedios, Duros.

Entorno: Topografía, Otros efectos.

Cimentación: Vigas de amarre en concreto reforzado.

³² AIS (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica). Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98. Ley 400 de 1997. Santafé de Bogotá: GOBIERNO NACIONAL, 1998.

³³ CAMPOS, A., et al. (2000). "Proyecto para la Mitigación del Riesgo Sísmico para Pereira, Dosquebradas Santa Rosa de Cabal". CARDER. Pereira

³⁴ AIS (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica).

9.6.2.5 Funciones De Vulnerabilidad. La función de vulnerabilidad de una estructura es aquella que describe gráfica o matemáticamente su vulnerabilidad para varias intensidades del movimiento del terreno, siendo estas intensidades utilizadas preferiblemente por valores de algún parámetro físico, como por ejemplo, la aceleración máxima del terreno o bien por uno de los grados en cualquier escala sísmica.

Para cada elemento sometido a riesgo pueden determinarse, conocido el inventario de daños, relaciones entre el parámetro descriptivo de la intensidad y el nivel de daño ocurrido. Estas relaciones son las funciones de vulnerabilidad empírica, las cuales necesitan una amplia y confiable base de información estadística. Ahora bien, si se pretende llevar a cabo estudios de costo/beneficio acerca de la efectividad relativa de intervenciones definidas por diferentes medidas posibles de mitigación del riesgo, no sólo es necesario conocer las funciones de vulnerabilidad empírica sino las funciones de vulnerabilidad teóricas o esperadas, las cuales son obtenidas de la modulación del comportamiento estructural.

Conocido el comportamiento de varios tipos de estructuras expuestas a diferentes intensidades de excitación del suelo podría realizarse una proyección o predicción de los daños esperados que pueden ocurrir en tales estructuras en futuros eventos. Por esta razón las funciones de vulnerabilidad derivadas de la estimación de las pérdidas específicas de los elementos existentes pueden utilizarse como información básica para la evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo en general, pues conocida la amenaza sísmica y la vulnerabilidad de las estructuras, por convolución de estas dos variables podría determinarse el riesgo sísmico.

La caracterización de los efectos, es decir el daño sísmico, usualmente se describe en términos del costo de reparación, del porcentaje de daño o de un valor que califique el nivel de pérdida específico.

También, con el fin de incluir efectos locales, se desarrollan las funciones de vulnerabilidad para diferentes tipos de suelos, por ejemplo: sobre roca, sobre arcillas volcánicas, sobre suelos aluviales, etc.

Según Aguiar, como ejemplo de funciones de vulnerabilidad propone las curvas de regresión teórica de Cartapati. Estas curvas se definen con base en las siguientes consideraciones:³⁵

La vulnerabilidad V se define en una escala desde 0 hasta α ó si se utiliza el índice de Vulnerabilidad I_v desde 0 hasta 382.5.

³⁵ AGUIAR, Roberto; BARBAT, Alex; CAICEDO, Cesar; CANAS, José. Vulnerabilidad Sísmica de Edificios. Monografías de Ingeniería Sísmica. Barcelona: CIMNE

El daño, D, se define en una escala desde 0 hasta 1.

Cuando la vulnerabilidad es nula, el daño esperado debe ser cero.

Cuando la vulnerabilidad tiende a α , el daño debe tender a la unidad.

Cuando la vulnerabilidad se incrementa, el daño también se incrementarse.

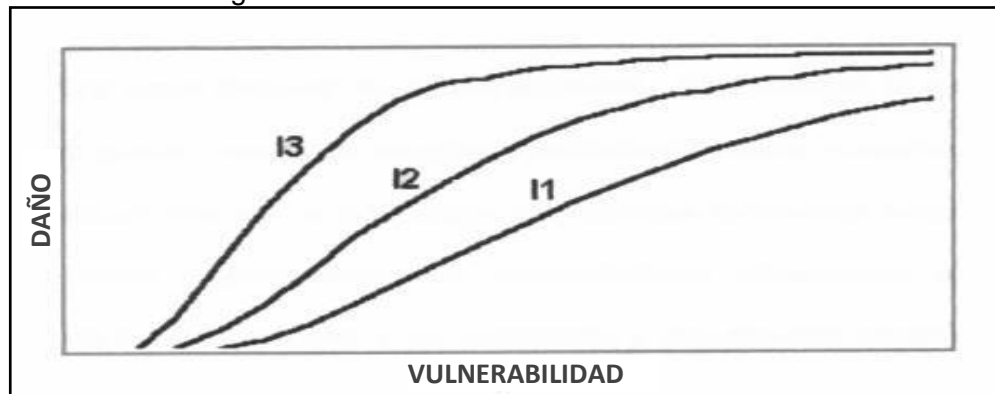
Cuando la vulnerabilidad es pequeña el daño esperado es casi inexistente, es decir, la curva es tangente al eje de las abscisas en el origen.

Todas las anteriores características se cumplen con una regresión del tipo:

$$\text{Ec No. 5: } D = (1 - e^{-\alpha V})^\beta, \beta > 1$$

Donde los coeficientes de regresión α , β dependen de la intensidad sísmica de los datos analizados.

Figura 10. Función de Vulnerabilidad Teórica.



Fuente: AGUIAR, ROBERTO BARBAT

Debido a la dificultad para detectar los daños por debajo de un nivel mínimo, la curva de vulnerabilidad pierde su significado cerca al origen, por lo tanto, se debe fijar un límite mínimo bajo el cual el daño se considera inexistente. Por otro lado considerando que los valores más elevados en una escala de daño cualquiera llevan a que se pierda funcionalidad del edificio, se debe fijar un límite máximo sobre el cual el daño se considera total.

La vulnerabilidad depende del diseño de las estructuras pero es independiente de la amenaza sísmica del sitio. Se puede decir que cada tipo de estructura tiene su propia función de vulnerabilidad y que el método para la determinación de dicha función varía en la misma forma que el comportamiento estructural del elemento en riesgo sea distinto.³⁶

³⁶ Chavarría, D. Gómez, D. Estudio Piloto de Vulnerabilidad Sísmica en Viviendas de 1 y 2 Pisos del Barrio Cuarto de Legua en el Cono de Cañaveralejo.

9.7 ACCION DE LOS TERREMOTOS EN LAS ESTRUCTURAS

“Un terremoto es una transformación brusca de energía: la energía de deformación acumulada en la litosfera se convierte súbitamente en energía cinética; ésta se manifiesta por medio de movimientos ondulatorios que se transmiten en el interior y en la superficie de la tierra. Esta energía, atenuada por la distancia, debe ser absorbida por los edificios y, en caso de sismos severos, disipada. El conocimiento obtenido hasta ahora ha permitido desarrollar bases que facilitan efectuar un diseño de estructuras con razonable seguridad para la vida. Más aun, ha sido posible aplicar criterios económicos en el diseño sísmico resistente optando por estructuras menos fuertes que lo necesario y, como consecuencia, de menor coste inicial; al ser éstas sometidas a un movimiento sísmico severo, deben sufrir daños controlados, sin colapsar, y disipar así una parte importante de la energía absorbida. Paradoja que significa que al degradarse la estructura existe la posibilidad de que no colapse y por lo tanto se salven las vidas que se encuentran en su interior”³⁷

De lo anterior se desprende que el comportamiento sísmico adecuado de una estructura depende, además de su resistencia, de su habilidad de disipar energía vibratoria a partir del instante en que sus deformaciones exceden el límite elástico, es decir, de su ductilidad. La vibración de la estructura en el rango plástico durante sismos fuertes significa, por lo tanto, la ocurrencia de daños estructurales y no estructurales. Esto no debe confundirse con el comportamiento deficiente que una estructura puede tener frente a un sismo incluso moderado, debido a un déficit de resistencia o a una ductilidad escasa, es decir, con su vulnerabilidad.³⁸

Se acepta, en general, y así se recoge en algunas normativas, que los edificios se diseñen para resistir sismos fuertes sin colapso, aun cuando se produzcan daños estructurales severos; sismos moderados sin daño estructural, pero con algún daño en elementos no estructurales; y sismos leves sin daño. En otras palabras, el nivel de riesgo aceptable o admisible, implícito legalmente en las normas, considera que la capacidad máxima de los elementos del sistema sísmico resistente puede ser excedida y que éstos pueden experimentar un comportamiento inelástico durante sismos muy fuertes, al producirse un incremento de las deformaciones por encima de las de fluencia. Además, se espera que en caso de sismos moderados se produzcan daños en los elementos no estructurales como tabiques, particiones, etc., y que, en general, sean fácilmente reparables. Sin embargo, este tipo de daños constituye una pobre imagen del estado de una estructura para el público no enterado, que desconoce que los mencionados daños son aceptables y por lo tanto legales ¡ante los jueces! Las expectativas que tienen los propietarios distan en mucho de los objetivos convencionales de las

³⁷ CARDONA, O.D. (2001). “Estimación Holística del Riesgo Sísmico Utilizando Sistemas dinámicos Complejos”. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. Según Capítulo 4 Pág. 95

³⁸ Ibid., p 99

normativas, pues en general el propietario espera que el edificio no tenga ningún daño. Los códigos de construcción fundamentalmente protegen la vida y, a partir de éste principio, protegen en forma indirecta la propiedad. Sin embargo, el hecho de que se admita que los elementos no estructurales se puedan dañar no deja de ser objeto de reflexión, puesto que fallos de muros divisorios y de fachadas también pueden, en algunos casos, comprometer la vida directamente; o también indirectamente, al no poder cumplir su función los edificios indispensables o esenciales, tales como los hospitales, en el momento en que más se les necesita.³⁹

9.7.1 Daños Estructurales. Las enseñanzas que han dejado los terremotos en el mundo indican que en los sitios donde se diseña de acuerdo con una buena normativa sismo resistente, donde la construcción es sometida a una supervisión estricta y donde el sismo de diseño es representativo de la amenaza sísmica real de la zona, el daño es marginal en comparación con el observado en sitios donde no se han dado estas circunstancias. Sin embargo, es importante resaltar que diseñar de acuerdo con una normativa no siempre salvaguarda contra el daño excesivo producido por terremotos severos.

9.7.2 Daños No Estructurales. Generalmente, los daños no estructurales se deben a la unión inadecuada entre los muros de relleno o divisorios, las instalaciones y la estructura, o a la falta de rigidez de la misma, lo que se traduce en excesivas deformaciones que no pueden ser absorbidas por este tipo de componentes.⁴⁰

³⁹ CARDONA, O.D. (2001). "Estimación Holística del Riesgo Sísmico Utilizando Sistemas dinámicos Complejos".

⁴⁰ AGUDELO, J. UPEGUI, F. (2004)

10. MARCO METODOLÓGICO

10.1 TIPO DE INVESTIGACION

El tipo de investigación seleccionado es de características cualitativas, ya que permite dar una apreciación del riesgo sísmico, en cuanto a los parámetros de resistencia de las edificaciones, matrices de costo, funciones de daño, factores de corrección y matrices de vulnerabilidad.

10.2 METODOS CUALITATIVOS

A continuación se incluye la descripción del método aproximado estudio del presente trabajo, propuestos por diversos autores para la evaluación de la vulnerabilidad de edificaciones existentes, las cuales muy comúnmente no cuentan con información detallada acerca de su diseño estructural, lo que impide realizar su análisis mediante los sofisticados métodos modernos que actualmente se utilizan para la evaluación del comportamiento o desempeño y la confiabilidad estructural. Si se tiene en cuenta que en ocasiones es necesario evaluar edificaciones relativamente antiguas, de las cuales no se conservan memorias de su diseño, y que en otras ocasiones es necesario evaluar en forma ágil un amplio número de edificaciones, como es el caso del presente estudio, estas técnicas son realmente útiles, dado que no es posible en la práctica llevar a cabo este tipo de evaluaciones de otra forma.⁴¹

10.2.1 Problemas Asociados Con Los Métodos Cualitativos. Como ya se mencionó, los métodos subjetivos no permiten una evaluación precisa de la vulnerabilidad de las estructuras; sin embargo, llegan a ser la única herramienta disponible en los casos para los que la modelación matemática por medio de los métodos analíticos es muy costosa, compleja o involucra factores cuyo comportamiento es difícil de predecir. En este sentido, la opinión del experto y una base de datos empíricos extensos, parece ser la solución a los problemas no resueltos hasta el momento.

La opinión subjetiva del experto, en la mayoría de los casos, resulta ser, una base de conocimiento difícil de transmitir y de "calibrar", por lo que los métodos que se basan en este tipo de información deben utilizar conceptos simples, generales y fácilmente comprensibles por el usuario. Lo anterior resulta, generalmente, en metodologías adaptadas a las tipologías y a las prácticas de construcción características de cada país e inclusive de cada región, lo que dificulta su aplicación en otros lugares.

⁴¹ Chavarría, D. Gómez, D. Estudio Piloto de Vulnerabilidad Sísmica en Viviendas de 1 y 2 Pisos del Barrio Cuarto de Legua en el Cono de Cañaveralejo.

Así, por ejemplo, los métodos que utilizan matrices de probabilidad de daño son muy apropiados porque la definición de estas matrices es generalmente sencilla y el cálculo del riesgo específico se simplifica enormemente pero, por otro lado, obliga a adoptar tipologías estructurales muy generales, las cuales son difícilmente adaptables a regiones con prácticas constructivas distintas. Además, estas tipologías por ser tan reducidas, disminuyen el nivel de "resolución" en la evaluación de la vulnerabilidad en zonas urbanas.

Por otra parte, los métodos basados en los códigos de construcción, además de no dar una estimación del daño, son elaborados con los criterios y las fórmulas adoptadas por un código de construcción en particular, lo que dificulta su adaptación para otras regiones donde, por ejemplo, el nivel de desarrollo o las políticas de protección civil son diferentes.⁴²

10.3 MÉTODO COMPUTACIONAL DE CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR SISMO PERCAL

La simulación por computador de eventos sísmicos tiene un papel importante en la cuantificación de pérdidas potenciales, básico como soporte para la toma de decisiones en todos los campos: el manejo de emergencias, la planificación urbana, toma de decisiones para reducción de la vulnerabilidad, definición de criterios de diseño, etc. Pero más importante aún es el uso de escenarios múltiples, en el cual el proceso de simulación es repetido para todos los eventos probables, permitiendo establecer la probabilidad de excedencia de las pérdidas y las correlaciones entre ellas, base fundamental para la toma de decisiones, el establecimiento de prioridades y un manejo financiero del riesgo.

El programa PERCAL permite calcular escenarios de pérdidas económicas y de vidas debidos a eventos sísmicos, teniendo en cuenta una gran cantidad de variables de las que dependen las resistencias probables de las estructuras, o las características del movimiento sísmico que finalmente le llega a la estructura. Se consideran, entonces, las amplitudes y características frecuenciales del evento sísmico a nivel del basamento rocoso, y las propiedades dinámicas de los depósitos de suelo en el sitio para definir la excitación sísmica que le llega a las estructuras, y variables como el estrato socioeconómico, el número de pisos de la edificación, el tipo de cubierta, la edad de la edificación y su uso para definir con base en éstas, las resistencias probables al movimiento sísmico. A cada variable se le asigna un valor como resultado de la combinación de un conocimiento previo, producto de la teoría, de ensayos de laboratorio o de un muestreo en campo y de un mecanismo de ensayo y error tratando de reproducir lo ocurrido durante los sismos ocurridos en el pasado.

⁴² Chavarría, D. Gómez, D. Estudio Piloto de Vulnerabilidad Sísmica en Viviendas de 1 y 2 Pisos del Barrio Cuarto de Legua en el Cono de Cañaveralejo.

El programa PERCAL no es interactivo con el usuario, es decir, que recibe la información por medios de archivos. En este caso se trata de tres archivos conocidos como “de entrada”: el de datos generales (extensión *.GEN), el de datos de los sectores o manzanas (extensión *.SEC) y el de datos de suelos (extensión *.SOI).

En el archivo *.SEC se caracteriza cada sector (se le llama sector a una manzana) en términos de su área, localización de su centro de identificador del tipo de perfil de suelo y la distribución porcentual de las edificaciones en función de la tipología estructural, el tipo de cubierta, el uso, el número de pisos, el estrato socioeconómico y la edad de las construcciones.

En el archivo *.SOI se definen los tipos de suelo indicando directamente la función de transferencia del suelo o asignando un perfil donde se numeran los diferentes estratos con su espesor, densidad, velocidad de ondas S y amortiguamiento viscoso equivalente en % del crítico. Con esta información se calcula la función de transferencia del suelo que modifica el espectro de amplitudes de Fourier del movimiento en terreno firme.⁴³

El archivo *.GEN contiene toda la información que el programa necesita para el cálculo de las pérdidas. Básicamente son dos clases de datos:

1. Las características del sismo, en términos de aceleración en roca o de magnitud, también se relacionan datos sobre la fuente SÍSMICA: su ubicación espacial, la distancia del área de estudio al epicentro y la dirección de la señal.
2. Las matrices que contienen las variables de las cuales se cree dependen los daños en las edificaciones, estas se remiten esencialmente a la resistencia que de terminadas edificaciones en determinadas circunstancias presentan ante las aceleraciones que el sismo hipotético va a generar y el valor económico esperado de esos daños, de acuerdo con la información suministrada por el sector constructor. Estas matrices se relacionan en la tabla.

Tabla 3. Matrices Principales de Archivo. Gen para el Cálculo de Pérdidas por Sismo del Programa PERCAL

MATRIZ	PROPOSITO
La densidad de habitantes según uso y estrato	Calcular la población que se vería afectada
El costo del metro cuadrado según uso y estrato	Calcular el valor económica de los daños esperados
El periodo de la vibración de las estructuras según tipo y uso	Calcular el daño esperado en edificaciones de cierto número de pisos, esto entra cuando la edificación entra en resonancia con el periodo del sismo
La matriz de factor de reducción de resistencia	Definir el daño esperado según las características de la edificación
La matriz que define la pendiente de la curva de vulnerabilidad (curva de daño)	
La matriz de correlación entre las diferentes variables de vulnerabilidad	Hacer eficiente el cálculo de pérdidas
La matriz que separa el costo de los elementos estructurales y los no estructurales de las edificaciones según tipología de la construcción.	Calcular las pérdidas en metros cuadrados

Fuente: GUZMAN, J. FRANCO, G. PARIS G., TABOADA A. (1997). CARDER PEREIRA

⁴³ AGUDELO, J. UPEGUI, F. (2004) Evaluación Del Riesgo Sísmico Para La Zona Centro De La Ciudad De Armenia (Quindío).

El programa PERCAL es una herramienta que toma como insumo fundamental la vulnerabilidad física de las edificaciones, sin embargo es consecuente con la idea de que esta vulnerabilidad es el reflejo de procesos sociales generadores de la misma, de allí que las variables de vulnerabilidad que se ingresan en el programa son esencialmente indicadores de vulnerabilidad social. Por ejemplo se incluye como variable de vulnerabilidad física el estrato socioeconómico. Porque este es un indicador de la calidad de la construcción y de los materiales empleados.⁴⁴

El programa calcula los espectros de respuesta de aceleraciones y desplazamientos en cada sector para ser usados como una medida de las sollicitaciones a las que se verán sometidas las estructuras, y con base en éstas y en las resistencias de las construcciones estimar los posibles daños y pérdidas que se presentan. Pero los daños no sólo tienen que ver con la relación entre la sollicitación y la resistencia en términos de fuerza, sino que, y especialmente en el caso de elementos no estructurales, los daños tienen que ver con la relación entre los desplazamientos relativos (derivadas) demandados sobre las estructuras y los que estas pueden resistir. Una vez calculada la fracción de las pérdidas de elementos estructurales y no estructurales, se calcula el valor total de las pérdidas como el producto del costo de los elementos estructurales por la fracción de las pérdidas de estos elementos, más el costo de los elementos no estructurales por la fracción de las pérdidas equivalentes.

Por otra parte, las pérdidas de vidas se calculan con base en los índices de daños y teniendo en cuenta la densidad de población por metro cuadrado en función del uso y estrato de la edificación, lo cual permite simular los efectos de la ocurrencia de un evento a diferentes horas.

El programa PERCAL en su versión original combinaba el método analítico con el estadístico, en la adaptación para este trabajo denominada PERCAL MILLENIUM el método es puramente analítico usando un modelo matemático muy simple.⁴⁵

10.4 METODOLOGÍA PLANTEADA PARA LA EVALUCIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA

1. Se estudiaron diferentes temas de interés de la ingeniería civil para la realización del presente trabajo. Se eligió al director y asesor del proyecto al Sr. ING. PhD. LEONARDO CANO SALDAÑA y con ellos se acordó limitar el tema de investigación definiendo la temática de vulnerabilidad sísmica como el eje central para el desarrollo del trabajo.
2. Se realizaron las recomendaciones bibliográficas para elaborar el anteproyecto titulado **“VULNERABILIDAD SÍSMICA INDICATIVA DE LAS VIVIENDAS**

⁴⁴ CORREA, N. NARVAEZ, L. (2000). “El papel de la degradación ambiental en la construcción histórica del riesgo sísmico en la cuenca de la quebrada Egozá un análisis de la vulnerabilidad sísmica social”. CARDER. Pereira.

⁴⁵ AGUDELO, J. Upegui, Fernando. (2004) p. 100

PROVENIENTES DE LOS PROGRAMAS DE REUBICACION DEBIDO A INTERVENCIONES EN EL BARRIO QUINTAS DE PANORAMA 1". La bibliografía consultada se encontró en la Biblioteca centro de documentación de la CARDER, en la biblioteca de la Universidad del Quindío, en consultas por Internet y en bibliografía facilitada el director del Proyecto de Grado.

De acuerdo con la metodología recomendada y actualmente aceptada para el análisis de la vulnerabilidad sísmica y el índice de daño, se determinó efectuar los procedimientos adecuados en la Urbanización Quintas de Panorama 1, teniendo en cuenta: sus particularidades, distribución espacial y su configuración, de tal manera que se pueda aplicar una metodología de forma rápida y generalizada, mediante el programa PERCAL VERSION MILLENIUM utilizando como una herramienta fundamental para el desarrollo del proyecto de grado.

Posterior al trabajo de análisis, se debe efectuar el trabajo de campo, que consiste en hacer un inventario y clasificación de las viviendas, para esto se debe tener en cuenta el formulario y metodología adoptada. En el formulario están consignadas las variables que el programa PERCAL establece para calcular el índice de daño en cada vivienda. El cual tiene variables como: número de pisos, estrato socioeconómico, uso, área, periodo de construcción, tipo de cubierta, calidad de la construcción, configuración estructural, tipo de la estructura.

3. Elaborar y presentar el anteproyecto ante los directores y asesores de tesis y ante la dirección del programa académico de ingeniería civil. En este anteproyecto se definió el tema, la zona de estudio, los objetivos y los cronogramas de trabajo.
4. Hacer la solicitud ante la curaduría urbana 1 de la ciudad de Pereira, con la intención de obtener información general de la urbanización Quintas de Panorama 1, e información sobre las licencias de construcción expedidas para dicho sector.
5. Se acordó realizar el análisis de la vulnerabilidad física del trabajo mediante el programa PERCAL VERSION MILLENIUM como el método idóneo de aplicación rápida y generalizada para la zona.
6. Realizar el inventario de las variables de vulnerabilidad para el area de estudio, este inventario se desarrolla visitando cada una de las manzanas que comprenden el area de estudio y desarrollar el formulario para Inventario y Clasificación de estructuras.
7. Realizar las visitas de campo correspondiente para complementar la información inicial obtenida de las distintas fuentes de información y para aclarar dudas que surjan en el desarrollo del proyecto.

8. Calcular y analizar los índices de vulnerabilidad, los índices de daño y las posibles pérdidas económicas directas en el barrio Quintas de Panorama 1.

Este trabajo se llevara a cabo con base en la metodología desarrollada por el Ingeniero Juan Diego Jaramillo, empleando el programa para el cálculo de pérdidas por sismo ("PERCAL MILLENIUM").

10.4.1 Programa Percal Versión Millenium. El programa PERCAL VERSION MILLENIUM está modificado específicamente para realizar una evaluación de vulnerabilidad y pérdidas predio a predio; posteriormente arroja datos de vulnerabilidad y pérdidas por manzana haciendo una ponderación de pesos por área de los predios que corresponden a la manzana.

El programa recibe la información por medio de tres archivos: El de datos generales o *.gen, el de datos de los predios *.SEC y el de datos de los espectros de respuesta de cada uno de los tipos de suelo *.RES.

En el archivo *.SEC se describen las características de cada predio: Identificación, tipo de suelo en el que se encuentra, área de la base, densidad de construcción, tipo de estructura, tipo de cubierta, uso, número de pisos, edad de construcción, estrato socioeconómico, calidad de la construcción y configuración estructural.

En el archivo *.RES se definen los espectros de respuesta de cada uno de los tipos de suelo (máximo 5, aunque es posible modificarlo para más tipos) para el sismo determinado, dichos espectros se obtienen externamente por medio de cualquier programa para cálculo de espectros de respuesta; también en este archivo se define el coeficiente de sitio de cada suelo y el tipo de sismo (leve, moderado o fuerte), con el fin de evaluar la vulnerabilidad.

En el archivo *.GEN se definen los parámetros de resistencia de las edificaciones, matrices de costo, funciones de daños, factores de corrección y matrices de vulnerabilidad que indican cuantitativamente la vulnerabilidad de cada sector para un sismo determinado.⁴⁶

10.5 TÉCNICAS EMPLEADAS PARA LA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

La técnica consta de realizar visitas de campo que nos permitan realizar un inventario y clasificación de las viviendas, para ello se empleara el formulario metodológico, el cual nos permitirá hacer una evaluación más detallada de los daños en las edificaciones con posterioridad a un desastre, tomando las indicaciones para su diligenciamiento de la Guía para la evaluación de

⁴⁶ AGUDELO, J. UPEGUI, F. (2004) Evaluación del Riesgo Sísmico Para la Zona centro de la Ciudad de Armenia (Quindío). Universidad del Quindío

edificaciones afectadas por sismos y otros eventos naturales”. En el formulario están consignadas las variables que el programa PERCAL MILLENIUM utiliza para calcular los índices de daño en cada edificación. Estas variables son: Número de pisos, estrato socio económico, uso, área, periodo de construcción, tipo de cubierta, calidad de la construcción, configuración estructural, tipo de estructura.

Figura 11. Formulario Para Inspección de Daños en Edificaciones Evaluación Estructural

Número Predial									
TIPO	SECTOR	MANZANA O VEREDA	PREDIO	MEJORA O PROPIEDAD	Formulario Nro. <input style="width: 40px;" type="text"/>	MUNICIPIO <input style="width: 80px;" type="text"/>			
						COMUNA <input style="width: 80px;" type="text"/>			
		SECTOR							

Tipo de Evento			Inspección del edificio		Habitabilidad de la Edificación	
Deslizamiento <input type="radio"/>	Sismo <input type="radio"/>	Inundación <input type="radio"/>	Exterior e interior <input type="radio"/>	Exterior únicamente <input type="radio"/>	Verde <input type="radio"/>	Naranja <input type="radio"/>
Tormenta Eléctrica <input type="radio"/>	Vendaval <input type="radio"/>	Otro: <input type="text"/>			Amarillo <input type="radio"/>	Rojo <input type="radio"/>

IDENTIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN				DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA			
Dirección: Carrera No. <input type="text"/> Calle No. <input type="text"/> Nos. <input type="text"/> / <input type="text"/>				Sistema Estructural:			
Avenida <input type="text"/> Nos. <input type="text"/> / <input type="text"/>							
Manzana: <input type="text"/> Casa No: <input type="text"/> Nombre del Edificio: <input type="text"/>							
Barrio o corregimiento: <input type="text"/>							
Observaciones: <input type="text"/>							
Uso		Año de Construcción		Concreto Reforzado:		Bahareque o tapia:	
Residencial <input type="radio"/>		Antes de 1959 <input type="radio"/>		Pórtico de concreto <input type="radio"/>		Muros en bahareque	Combinación de dos o más sistemas <input type="radio"/>
Comercial <input type="radio"/>		1960 a 1984 <input type="radio"/>		Pantallas de concreto <input type="radio"/>		Muros en Tapia	
Educacional <input type="radio"/>		1985 a 1997 <input type="radio"/>		Prefabricados <input type="radio"/>		Madera:	
Salud <input type="radio"/>		Después de 1998 <input type="radio"/>		Sistema Dual <input type="radio"/>		Pórticos y paneles en madera	<input type="radio"/>
Hotelero <input type="radio"/>				Mampostería:		Pórticos en madera y paneles en otros materiales	<input type="radio"/>
Oficinas <input type="radio"/>				Confinada <input type="radio"/>		Metálica:	
Industrial <input type="radio"/>				Reforzada <input type="radio"/>		Pórticos Armistrados	<input type="radio"/>
Institucional <input type="radio"/>				Simple <input type="radio"/>		Pórticos No Armistrados	<input type="radio"/>
Bodegas <input type="radio"/>				Otros: <input type="text"/>			
Parqueaderos <input type="radio"/>				Material de Cubierta		Tipo de Entrepiso	
Otro: <input type="text"/>				Placa de concreto <input type="radio"/>		Placa maciza <input type="radio"/>	Vigas de acero <input type="radio"/>
				Teja barro <input type="radio"/>		Placa aligerada <input type="radio"/>	Madera <input type="radio"/>
				Asbesto cemento <input type="radio"/>		Reticular celular <input type="radio"/>	Otro <input type="radio"/>
				Lámina de zinc <input type="radio"/>		Vigas de acero y laminas <input type="radio"/>	
				Mixta <input type="radio"/>			
				Otro: <input type="text"/>		Rehabilitación por sismos anteriores:	
Calidad de la Construcción y Mantenimiento:		Posición de la edificación en la manzana:		Configuración en Altura		Configuración en Planta	
Buena <input type="radio"/>		Esquina costados restringidos <input type="radio"/>		Buena <input type="radio"/>		Buena <input type="radio"/>	No hay reparaciones <input type="radio"/>
Regular <input type="radio"/>		Intermedia costados restringidos <input type="radio"/>		Regular <input type="radio"/>		Regular <input type="radio"/>	Reparación Puntual <input type="radio"/>
Mala <input type="radio"/>		Libre por un costado <input type="radio"/>		Mala <input type="radio"/>		Mala <input type="radio"/>	Reforzamiento Parcial <input type="radio"/>
		Libre por dos costados <input type="radio"/>					Reforzamiento Total <input type="radio"/>
							Reconstrucción parcial <input type="radio"/>

Fuente: ALCALDÍA DE ARMENIA

10.6 MODELO DE AMENAZA SÍSMICA

Un modelo de Amenaza Sísmica es aquel que va a permitir evaluar de la manera más realista, la probabilidad de ocurrencia de un evento, partiendo de un parámetro de intensidad del movimiento (la aceleración es la unidad técnica más utilizada); la metodología más usada en nuestro país para determinar la aceleración máxima esperable en un sitio determinado es la del modelo Línea. El cual está basado en el modelo de Cornell, estos modelos han sido utilizados ampliamente en el territorio nacional y han demostrado ser un acercamiento adecuado al problema que se está manejando.⁴⁷

El modelo Línea Fuente básicamente involucra algunos los aspectos fundamentales que intervienen en la amenaza sísmica de un sitio:

- Fuentes sísmicas y sus tasas de peligrosidad (representadas por datos geométricos como distancias, longitud, profundidad, buzamiento, ancho de corredor, etc.)
- Estudio del número y tipo de sismos en el pasado y la magnitud máxima probable que puede llegar a tener un sismo que produzca la falla.
- Ecuaciones de atenuación válidas para el tipo de falla y la región.
- Longitud máxima de ruptura esperable en la falla.

Sin embargo el modelo adolece o presenta algunas deficiencias fundamentales al momento de evaluar la amenaza sísmica como:

- Considera independencia espacial y temporal de los eventos.
- Utiliza una distribución de probabilidades que no es acorde totalmente con el fenómeno estudiado.

La utilización de otro tipo de modelos que minimicen estas deficiencias requieren de información primaria que por el momento no está disponible debido principalmente a la escasa instrumentación que existe en nuestro país y al corto periodo de tiempo que esta lleva operando.

Debido a estas razones el uso del modelo línea fuente para la evaluación de la amenaza sísmica todavía es justificable en nuestro caso.

10.6.1 Espectro De Respuesta De Aceleración Referencias. Después de conocer las características del sismo con una probabilidad de ocurrencia

⁴⁷ DER KIUREGHIAN, A. and ANG, H-S, A., (1.975). "A line source model for seismic risk analysis". Illinois University.

determinada, de acuerdo con los parámetros obtenidos en la amenaza, se procede a obtener las señales ya sea sintéticamente o traídas de ambientes tectónicos similares de sismos reales que concuerden adecuadamente con el estudio de amenaza sísmica.⁴⁸

10.6.1.1 Deriva De Piso. Los daños en las construcciones no solo tienen que ver con la relación entre la sollicitación y la resistencia en términos de fuerzas, sino que, y específicamente en el caso de elementos no estructurales de edificaciones en altura, los daños tienen que ver con la relación entre los desplazamientos relativos (derivas) demandados sobre las estructuras y los que estos puedan resistir.⁴⁹

En una primera etapa se estima el espectro de respuesta de desplazamientos, que indica los desplazamientos máximos de sistemas de un grado de libertad cuando son sometidos a la acción sísmica que se está estudiando. Este espectro se calcula con base en el espectro de respuesta de pseudo aceleraciones ya calculado, simplemente multiplicándolo por w^2 . Donde w es la frecuencia circular de vibración del sistema. Una vez se tiene el desplazamiento máximo del sistema equivalente de un grado de libertad, es necesario estimar, con base en este, el desplazamiento máximo del último nivel de la construcción real. Si se considera una función cúbica de deformación para el modo fundamental de vibración, y además se considera que el sistema tiene la masa uniformemente distribuida en la altura de la construcción, resulta después de realizar varias modelaciones un factor de amplificación del desplazamiento sobre el del sistema equivalente de un grado de libertad cercano a 1.57 y casi invariable con la forma de la función de deformación. Entonces, si se multiplica el valor leído del espectro de respuesta de desplazamientos por 1.57, se obtiene el desplazamiento del último nivel de la construcción. Ahora, si este desplazamiento se divide entre el número de niveles de la construcción, resulta el valor promedio de desplazamiento relativo entre los pisos, para tener en cuenta que la función de deformación está lejos de ser una función lineal, este valor se multiplica por un factor de 2.0 para tener en cuenta desplazamientos relativos mucho más grandes en los últimos niveles de un sistema de flexión (pórticos), o en los primeros niveles en un sistema de cortante (muros). Finalmente, este valor de desplazamiento máximo de entrepiso se divide entre la altura del entrepiso para obtener la deriva.⁵⁰

10.6.2 Vulnerabilidad Física. La vulnerabilidad física se describe en términos de la aceleración basal resistente última, la aceleración basal resistente elástica, la ductilidad disponible y el período fundamental de vibración de la estructura. Cada

⁴⁸ JARAMILLO, J.D. (1997). "Programa para el Cálculo de Perdidas por Sismo (PERCAL Ver. 6). Departamento de Ingeniería Civil, Universidad EAFIT. Medellín.

⁴⁹ *Ibíd.*, 105

⁵⁰ *Ibíd.*, 107

uno de estos parámetros se calcula en función del tipo de estructura que a su vez está descrito en términos de las variables generales que la caracterizan, los valores que pueden tomar cada variable son:

- Estrato socioeconómico: (estra (I), I=1-6), se define como un valor entero que va de 1 a 6 de acuerdo al estrato socioeconómico en que este ubicado el predio; para nuestro caso se tomó la clasificación de estratos de Planeación Municipal.⁵¹
- Número de pisos, (pisos (I), I=1- n). Se define como un valor entero que varía desde 1 hasta *n* pisos de acuerdo al número de niveles que tenga cada edificación por encima del nivel de la calle.
- Tipo de estructura, (tipo (I), I=5): se define como un valor entero que varía de 1 a 5 de acuerdo al tipo de estructura: 1-Bahareque, 2-Mampostería simple, 3-Mampostería confinada, 4-Mampostería reforzada y 5-Pórticos de concreto.
- Tipo de cubierta, (techo (I), I=3): se define como un numero entero que varía de 1 a 3 dependiendo del tipo material de cubierta: 1-liviana, 2-teja de barro y 3-losa de concreto.
- Uso, (uso (I), I=4), se define como un numero entero que varía de 1 a 4 dependiendo del uso que tiene cada edificación: 1-Residencial, 2- Comercial, 3-Industrial y 4-Escolar.
- Periodo de construcción (edad (I), I=5): se define como un numero entero que varía de 1 a 5 dependiendo de la época en que se construyeron las edificaciones agrupadas en periodos de acuerdo al desarrollo histórico de la ciudad: 1- Antes de1929, 2- 1930 a 1959, 3- 1960 a 1984, 4- 1985 a 1997 y 5- después de 1998.
- Calidad de la construcción. Cali (I). I=3, se define como un número entero que varía desde 1 a 3 dependiendo de la calificación: 1-buena, 2-regular y 3-mala, de acuerdo a los criterios establecidos en la guía para el diligenciamiento del formulario para la evaluación estructural de edificaciones.
- Configuración estructural, confe (I) I=3, se define como un número entero que varía desde 1 a 3 dependiendo de la calificación estructural: 1-buena, 2-regular y 3-mala, de acuerdo a los criterios establecidos en la guía para el diligenciamiento del formulario para la evaluación estructural de edificaciones.⁵²

⁵¹ ALCALDIA DE ARMENIA, SOCIEDAD DE INGENIEROS DEL QUINDIO (SIQ). (2003). "Guía para el Diligenciamiento del Formulario para evaluación Estructural Ver. 2.0". Comité Local de prevención y atención de Desastres (CLOPAD). Armenia.

⁵² ALCALDIA DE ARMENIA, SOCIEDAD DE INGENIEROS DEL QUINDIO (SIQ). (2003).

10.6.2.1 Aceleración Basal Resistente Última. La aceleración basal resistente última está definida como la máxima aceleración basal que puede resistir una estructura antes de sobrevenir el colapso". Para estimarla se separan las estructuras de bahareque, mampostería simple y mampostería confinada, de las de mampostería reforzada y de pórticos de concreto reforzado. La aceleración basal resistente última del primer grupo se consideró que está determinada por la longitud de muros en la dirección más débil del primer piso, la resistencia al cortante de los muros y por el peso de la construcción, según la expresión:

Ec No. 6:
$$A_{ru} = \frac{V_{ru}}{W}$$

Donde:

Aru = Aceleración basal resistente última (% de g)

Vru = Cortante resistente último del primer piso (KN)

W = Peso de la estructura (ton).

Ec No. 7: $V_{ru} = L_t \times e \times V$

Donde:

Lt = Longitud total de muros (m)

e = espesor de muros (m)

V = Esfuerzo cortante resistente (KN/m²)

Ec No. 8: $W = w \times A_t$

Donde:

w = Peso por unidad de área (ton/m²)

A_t = Área total construida (m²)

Reemplazando 7 y 8 se obtiene:

Ec No. 9:
$$A_{ru} = \frac{L_t \times e \times V}{A_t \times w} = \frac{\frac{L_t}{A_t} \times e \times V}{w}$$

Donde:

$\frac{L_t}{A_t}$ = longitud de muros por metro cuadrado de construcción.

Para que Aru este influenciada por una carga axial actuante en los muros debido al peso de la estructura que estos en realidad soportan, entre otros según Arbeláez, J., Díaz, R., & Vélez, A. (1997) propone la siguiente expresión:⁵³

Ec No. 10:
$$V = V_{m,w} = V_{m,0} + k \left(\frac{P_v}{A} \right)$$

⁵³ ARBELAEZ, J., DIAZ, R., VELEZ, A. (1997). "Determinación de la Influencia de la Aceleración Basal Resistente y el Periodo Estructural de las Construcciones en el Escenario de Pérdidas por Sismo. Caso: Pereira, Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal". Trabajo de Grado (Ingeniería Civil). Programa de Ingeniería Civil. Universidad del Quindío. Armenia, Citado por García, L.E., Yamin, L.E, 1993.

Donde:

$V_{m,w}$ = Esfuerzo cortante ultimo resistente considerando el efecto de la carga vertical. (KN/m2).

$V_{m,0}$ = esfuerzo cortante horizontal ultimo para el muro con carga vertical nula. (KN/m2)

k = Factor que varía entre 0.7 y 1.0 para muros ensayados.

P_v = Carga vertical sobre el muro con carga vertical nula. (KN/m2).

A = área bruta del muro (m2).

P_v / A = Esfuerzo axial sobre el muro (KN/m2).

Entonces:

$$\text{Ec No. 11: } A_{ru} = \frac{\frac{L_t}{A_t} x e x V_{m,w}}{w} = \frac{\frac{L_t}{A_t} x e x \left(V_{m,0} + k \frac{P_v}{A} \right)}{w}$$

Pero: $P_v = w$ (peso sobre el muro m2) (KN/m2)

$A = L_t / A_t * e$ (Área bruta del muro) (m2)

$$\text{Ec No. 12: } A_{ru} = \frac{\frac{L_t}{A_t} x e x \left(V_{m,0} + k \left(\frac{w}{\frac{L_t}{A_t} x e} \right) \right)}{w}$$

Considerando:

$$\text{Ec No. 13: } F = \frac{w}{\frac{L_t}{A_t} x e}$$

Se tiene:

$$\text{Ec No. 14: } A_{ru} = \frac{V_{m,0} + k F}{F}$$

Donde:

$k = 0.7$ Recomendado según Arbeláez (1997), citando a García (1993)

$V_{m,0} = 0.5f'v$ ($f'v$ = resistencia nominal de la mampostería).⁵⁴

$$\text{Ec No. 15: } A_{ru} = \frac{0.5 f'v + k F}{F}$$

⁵⁴ ARBELAEZ, J., DIAZ, R., VELEZ, A. (1997). Determinación de la Influencia de la Aceleración Basal Resistente y el Periodo Estructural de las Construcciones en el Escenario de Perdidas por Sismo.

La aceleración basal resistente última del segundo grupo está definida por el coeficiente sísmico de diseño exigido o de más uso en la época de construcción de la edificación.

- **Estructuras Reforzadas.** Como se había mencionado antes, se consideró que en estructuras de mampostería reforzada o de pórticos de concreto reforzado, la aceleración basal resistente última está dada por el coeficiente de diseño sísmico exigido o en uso en el momento de la construcción de la obra.

En la tabla se muestran los espectros de diseño sísmico utilizados en este trabajo para las 3 primeras épocas definidas y para las otras 2 sus respectivos espectros de diseño. De la misma forma que en el caso de estructuras no reforzadas, la aceleración basal resistente última se modifica por los mismos factores de reducción por estrato socioeconómico, que tiene en cuenta la disminución de los detalles constructivos y la calidad a medida que se descende en el estrato socioeconómico. Los efectos del tipo de estructura, la edad, el uso y el número de pisos están incluidos directamente en el diseño que se hace con base en los espectros propuestos.

Tabla 4. Espectros de Diseño

Tipo de Suelo	Aceleración Espectral Máxima	Periodo de quiebre (seg.)	Exponente de Caída	Máxima Velocidad de Ondas "S" (m/S)
Antes de 1929				
1	0.150	4.0	0.0	0.0
2	0.150	4.0	0.0	0.0
3	0.150	4.0	0.0	0.0
1930 a 1959				
1	0.150	4.0	0.0	0.0
2	0.150	4.0	0.0	0.0
3	0.150	4.0	0.0	0.0
1960 a 1984				
1	0.125	4.0	0.0	750
2	0.125	4.0	0.0	400
3	0.125	4.0	0.0	0.0

Fuente: CAMPOS, A., et al. (2000). CARDER PEREIRA

Edificaciones Construidas Después de 1998

Espectro NSR-98

Con la aparición de la actual normativa sismo resistente NSR-98 se incluyen los siguientes cambios en la definición del espectro elástico de respuesta:

- Definición de un nuevo suelo S4, el cual corresponde a un suelo donde los depósitos existentes entre la roca y la superficie tienen más de 12 m de arcillas blandas, caracterizadas por una velocidad de la onda cortante menor de 150 m/s.
- Incorporación de un nuevo grupo de uso de las estructuras (IV) al cual se le ha asignado un factor de importancia I igual a 1.3.
- Cambio en la expresión que controla la forma del espectro elástico para la zona con velocidad espectral constante, esto es:

Ec No. 16:
$$S_a = \frac{1.2 A_a * S * I}{T^d}$$

- Cambio de la expresión que definen el período TC que controlan la transición de la zona de aceleración constante a velocidad constante:

$$\text{Ec No. 17: } T_C = 0.48 S$$

Para definir el espectro elástico, acuerdo a las dos Normativas mencionadas, se han tomado los siguientes valores:

$A_a = 0.25g$ de acuerdo al mapa de amenaza sísmica.⁵⁵

$I = 1.0$ por tratarse de estructuras de ocupación normal (Grupo I)

$S = 1.5$ Que corresponden a un perfil S3

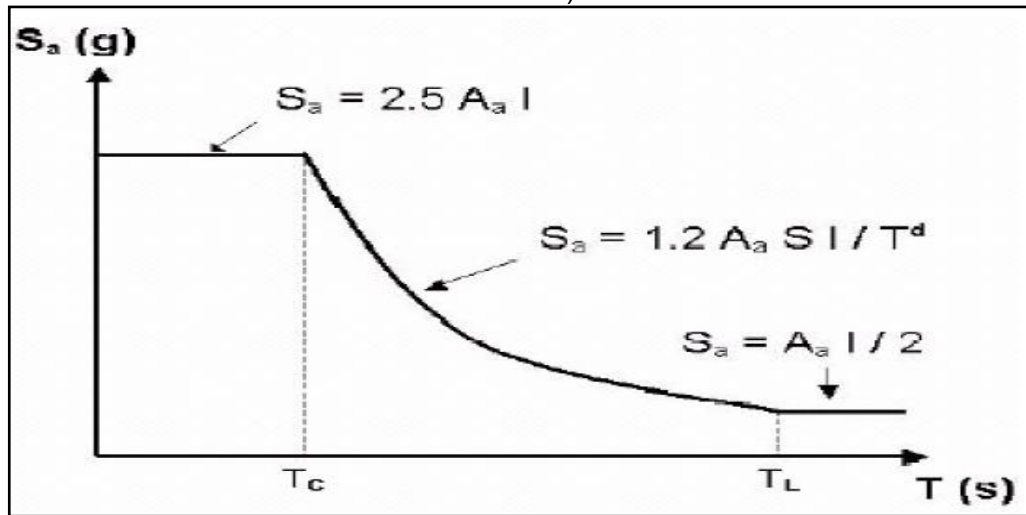
$T_L = 3.6$ s de acuerdo a la Ecuación

Ec No. 18:
$$T_c = \begin{cases} 0.6s & \text{CCCSR-84} \\ 0.72s & \text{NSR-98} \end{cases}$$

$$d = \begin{cases} \frac{2}{3} & \text{CCCSR-84} \\ 1.0 & \text{NSR-98} \end{cases}$$

⁵⁵ AIS (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica). (1997). Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98. Ley 400 de 1997. Bogotá D.C.

Figura 12. Forma del Espectro Elástico de Diseño de las Dos Normativas (CCCSR-84 y NSR-98).



Fuente: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (CCCSR-84 y NSR-98)

10.6.2.2 Aceleración Basal Resistente Elástica. “Se define como la máxima aceleración que puede resistir una estructura sin ocasionar daño a sus elementos estructurales”.⁵⁶

Se calcula como una fracción de la aceleración basal resistente última. El factor con el que se afecta depende del sistema estructural y de la época de construcción de la estructura. Para estructuras en mampostería no reforzada tiene en cuenta los niveles de esfuerzos para que no se presenten daños en la mampostería, y para estructuras de mampostería reforzada o concreto reforzado construidas bajo especificaciones modernas es el mismo factor definido en los códigos como factor de reducción de fuerzas.

➤ **Periodo Fundamental De Vibración:** El período fundamental de vibración para las diferentes estructuras se calcula de acuerdo a su sistema estructural con las siguientes ecuaciones:

Ec No. 19: - Estructuras de mampostería $T = 0.05h^{3/4}$

Ec No. 20: - Estructuras aporticadas $T = 0.08h^{3/4}$

Para edificaciones de baja altura, hasta cinco pisos aproximadamente, el tipo de cubierta afecta de manera importante el periodo de la edificación. Para considerar

⁵⁶ JARAMILLO, J.D. (1997). “Programa para el Cálculo de Perdidas por Sismo (PERCAL Ver. 6). Departamento de Ingeniería Civil, Universidad EAFIT. Medellín.

este efecto, se calcula el periodo modificado, T' , por el tipo de cubierta, según la expresión:

$$\text{Ec No. 21: } T' = T \sqrt{1 - FMCUB(1 - FMTEC)}$$

Donde, FMCUB representa la participación de la masa del último nivel en la masa total asociada al primer modo, en función del número de pisos de la edificación. A continuación se presentan los factores utilizados, que se calculan suponiendo una función de deformación cúbica para el primer modo de vibración.⁵⁷

Tabla 5. Factores de Participación de la Masa del Último Nivel en la Masa Total

Número de pisos	FMCUB
1	1.00
2	0.91
3	0.77
4	0.67
5	0.58
6	0.51
7	0.46
8	0.42
10	0.35
12	0.30
15	0.25

FUENTE: JARAMILLO, J.D. (1997).

Es claro que para una estructura de un solo nivel su masa es el 100% de la masa activa para el modo de vibración, pero por ejemplo, para una estructura de dos niveles la masa del último nivel participa con el 91% de la masa total asociada al modo de deformación; es la masa del último nivel la que genera las mayores fuerzas de inercia.

En la EC No. 21 que permite calcular el periodo de vibración corregido por el tipo de cubierta, $FMTEC$, factor de corrección por el peso de la cubierta, se considera la fracción del peso por unidad de área de una cubierta liviana o de teja de barro sobre el peso de una cubierta de losa de concreto reforzado.

Tabla 6. Factores de Corrección por el Peso de la Cubierta

Tipo de cubierta	FMTEC
Losa	1.00
Teja	0.75
Liviana	0.45

FUENTE: JARAMILLO, J.D. (1997).

⁵⁷ JARAMILLO, J.D. (1997). "Programa para el Cálculo de Perdidas por Sismo (PERCAL Ver. 6).

De la tabla 5 se puede obtener por regresión la siguiente ecuación:

$$\text{Ec No. 22: FMCUB} = 1.0643446181 - 0.3031904355 * \ln(X_p)$$

Donde FMCUB es el factor de participación de la masa del último piso y X_p el número de pisos.

- **Funciones De Daños:** “Las funciones de daños son las que relacionan las sollicitaciones que actúan sobre la estructura, ya sean aceleraciones básicas o derivas de entrepiso, con las pérdidas que estas ocasionan”.⁵⁸

Las pérdidas estructurales se consideran como las que son ocasionadas por la aceleración basal y las pérdidas no estructurales se calculan proporcionalmente a la diferencia entre la deriva impuesta por el temblor a la estructura y la deriva elástica permisible.

- **Daños Estructurales:** Se consideran los daños ocasionados por la aceleración basal. Se calcula para cada tipo de combinación de estructura las siguientes variables:

- Periodo (T)
- Aceleración resistente última (Aru)
- Aceleración resistente elástica (Are)
- Sollicitación (As) en el espectro de respuesta de aceleraciones en el sitio.

Se calcula el índice de daño estructural definido como:

$$\text{Ec No. 23: } IDE = \frac{D_{dem} - 1}{UMON - 1}$$

Donde:

IDE = Índice de daño estructural

UMON = Ductilidad Monotónica

Ddem = Ductilidad demandada que se calcula como:

$$\text{Ec No. 24: } D_{dem} = \frac{A_s}{A_{re}}$$

Donde:

As = Sollicitación en el espectro de respuesta de aceleraciones en el sitio.

$$\text{Ec No. 25: } A_{re} = A_{ru} * (0.8 / (FMTEC + (X_p - 1.) + 0.2) / FRTIPO$$

⁵⁸ JARAMILLO, J.D. (1997). “Programa para el Cálculo de Perdidas por Sismo

- **FRTIPO:** Este factor permite calcular la aceleración basal resistente elástica, A_{re} , como una fracción de la aceleración basal resistente última (A_{ru}). Para estructuras de concreto reforzado construidas bajo especificaciones sísmicas modernas, este factor es el definido en los códigos como el factor de reducción de fuerzas.

Para estructuras de bahareque y mampostería, aceptando que hay una relación cercanamente lineal entre esfuerzo y deformación angular para todo el rango de aplicación de cargas, se debe especificar un valor para FRTIPO igual a la relación entre las derivas de fisuramiento y agrietamiento, es decir, entre 2.0 y 3.0.⁵⁹

Este valor debe aplicarse para todos los periodos de la historia en la ciudad.

- **UMON:** Variable que describe la ductilidad máxima que puede desarrollar determinado tipo estructural. En términos de índices de daño esta variable controlaría la deformación máxima para alcanzar un índice de daño de 1.0, considerando esta última interpretación, la variable UMON debería tomar valores tan grandes como los necesarios para representar la capacidad de deformación de las estructuras mejor concebidas del grupo de estructuras que se esté analizando. No es raro pues encontrar que para reproducir los escenarios de daños de sismos reales sea necesario recurrir a valores de esta variable tan grandes como 40 o 50, no queriendo decir lo anterior que el tipo de estructuras al que corresponden estos valores pueda desarrollar ductilidades de 40 o 50 unidades, la interpretación correcta más bien sería que partiendo de una resistencia promedio para ese tipo estructural, se hace necesario utilizar valores de la variable UMON tan altos como los propuestos, para representar algunas edificaciones de ese tipo y pertenecientes a ese grupo, que tienen no solo mejores características estructurales, sino y por sobre todo mucha más resistencia que el promedio. En otras palabras, la variable UMON controla la pendiente de la curva de vulnerabilidad de los diferentes tipos estructurales, teniendo a su cargo la representación de lo mejor dentro del grupo de estructuras en estudio. Los valores que se sugieren para estas variables según la simulación del escenario de pérdidas reales deben ser los siguientes:

Tabla 7. Matriz de UMON Calibrada

	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4	periodo 5
Bahareque	15	15	15	15	15
Mamp. Simple	25	25	25	25	25
Mamp. Confinada	28	28	28	28	28
Mamp. Reforzada	35	35	35	35	35
Pórticos	35	35	35	35	35

Fuente: JARAMILLO, J.D. (1997)

⁵⁹ CAMPOS, A., et al. (2000). "Proyecto para la Mitigación del Riesgo Sísmico para Pereira, Dosquebradas Santa Rosa de Cabal". CARDER. Pereira.

CALIBRACIÓN DE LA MATRIZ UMON

Se realizaron los ajustes correspondientes en cuanto a las pérdidas económicas y en metros cuadrados, producidos por un sismo de gran magnitud como lo fue el del 25 de enero de 1999, y los escenarios simulados por el programa PERCAL MILLENIUM, de tal forma que correspondan en términos de “órdenes de magnitud” a los escenarios de daños reales.⁶⁰

Para este fin se prosedio a actualizar y crear tres archivos fundamentales para el programa PERCAL MILENIUM como lo son:

El archivo **.SEC** el cual contiene la información de la infraestructura ubicada sobre el mismo tipo de suelo de donde se registro el sismo de 1999.

El archivo **.RES** en el cual se define el espectro de respuesta en el suelo donde se registro el sismo de 1999.

El archivo **.GEN** en el cual se definen los valores de algunas de las variables contenidas en el archivo de datos generales cuya estimación puede variar dentro de rangos que han sido establecidos en otras investigaciones.

A continuación se describen las variables que fueron sujetas a un proceso de ensayo y error y los valores dentro de los cuales se sugieren deben moverse para tratar de representar los daños reales que ocasionaría un sismo en el sector en estudio.

ABABA: Aceleración basal resistente del bahareque

ABAMNC: Aceleración basal resistente de la mampostería no confinada no reforzada (simple).

ABAMC Aceleración basal resistente mampostería confinada

Estas son las variables que permiten calibrar los daños en estructuras de bahareque, mampostería simple y confinada, es decir, de la mayoría de las edificaciones de 1 a 3 pisos. Aunque se han hecho algunos estudios para determinar estas resistencias.⁶¹

⁶⁰ AGUDELO, J. UPEGUI, F. (2004) Evaluación Del Riesgo Sísmico Para La Zona Centro De La Ciudad De Armenia (Quindío). Universidad Del Quindío.

⁶¹ CAMPOS, A., et al. (2000). “Proyecto para la Mitigación del Riesgo Sísmico para Pereira, Dosquebradas Santa Rosa de Cabal”. CARDER.

La mejor manera de calibrarlas es a través de los resultados de la simulación, moviendo sus valores dentro de un rango “permitido” hasta que se reproduzcan las pérdidas para cada uno de estos tipos de edificaciones.⁶²

Los valores que se sugieren para estas variables según la simulación del escenario de pérdidas reales deben ser los siguientes:

ABABA= 0.70

ABAMNC = 1.2

ABAMC = 1.2

UMON (I, J): Dúctilidad monotónica máxima en función del tipo (I) edad (J) Variable que describe la ductilidad máxima que puede desarrollar determinado tipo estructural. En términos de índices de daño esta variable controlaría la deformación máxima para alcanzar un índice de daño de 1.0. Considerando esta última interpretación, la variable UMON debería tomar valores tan grandes como los necesarios para representar la capacidad de deformación de las estructuras mejor concebidas del grupo de estructuras que se esté analizando.⁶³

DAÑOS NO ESTRUCTURALES

La fracción de daños no estructurales se calcula proporcionalmente a la diferencia entre la deriva impuesta por el temblor a la estructura y la deriva elástica permisible (0.001), limite en el que comienza a fisurarse la mampostería y hasta (0.007) deriva en la que se considera pérdida total de la mampostería.⁶⁴

$$\text{Ec No. 26: } IDNE = \frac{DSOL - DLAST}{DCOLA - DLAST}$$

Donde:

IDNE = Índice de daño no estructural

DSOL = Deriva impuesta por el Sismo

DLAST = Deriva elástica permisible

DCOLA = Deriva máxima para que se presente el daño total en los elementos no estructurales.

⁶² GARCIA, L.E. (1998). “Dinámica Estructural Aplicada al Diseño Sísmico”

⁶³ AGUDELO, J. UPEGUI, F. (2004) Evaluación Del Riesgo Sísmico Para La Zona Centro De La Ciudad De Armenia (Quindío). Universidad del Quindío.

⁶⁴ JARAMILLO, J.D. (1997). “Programa para el Cálculo de Perdidas por Sismo (PERCAL ver. 6). Departamento de Ingeniería Civil, Universidad EAFIT. Medellín.

DLAST, DCOLA: Derivas límites

Los valores de las derivas de fisuración y de agrietamiento de la mampostería, DLAST y DCOLA respectivamente, han sido bien estudiados en muchas partes del mundo, incluyendo Colombia (Universidad de los Andes),⁶⁵ con resultados muy estables y bien definidos. Sin embargo, el modelo debe considerar los valores extremos, mínimos y máximos de sus variables, y no los promedios que se han obtenidos de estas investigaciones. Por lo anterior, los valores de estas dos variables pueden establecerse.

Dentro del siguiente rango: $0.0007 < DLAST < 0.001$, $0.005 < DCOLA < 0.007$.⁶⁶

Ec. No.: 27 **DSOL** = $As * 981. * TE * TE / 4. / 3.1416 / 3.1416 * 1.57 * 1.0 / 280. / XP$

Donde:

TE = Período de la estructura

As = Aceleración solicitada

Xp = Numero de pisos de la edificación

CALCULO DE LA VULNERABILIDAD

Al tener estructuras sometidas a un movimiento sísmico severo, deben sufrir daños controlados, sin colapsar. El comportamiento sísmico adecuado de una estructura depende, además de su resistencia, de su habilidad de disipar energía vibratoria a partir del instante en que sus deformaciones exceden el límite elástico. La vibración de la estructura en el rango plástico durante sismos fuertes significa, por lo tanto, la ocurrencia de daños estructurales y no estructurales.⁶⁷

Según las exigencias planteadas por la norma de sismo resistencia se acepta que los edificios se diseñen para resistir sismos fuertes sin colapso, aun cuando se produzcan daños estructurales severos; sismos moderados con daños estructurales moderados y no estructurales aceptables y sismos leves sin daño.

Para poder obtener la vulnerabilidad a partir del índice de daño global es la siguiente:

Si se tiene en cuenta que la vulnerabilidad (V) es el nivel de daño D esperado que puede presentarse sobre una clase de construcción como consecuencia de la manifestación de un sismo dado con intensidad I tenemos:

⁶⁵ ALVAREZ, A. (1987). "Contribución al conocimiento de la sismicidad histórica en Colombia". Tesis de Magister, Universidad de los Andes, Fac. Ing. Civil, Mic-86- II-01, p.194, 296p., Bogotá, Inédito.

⁶⁶ CAMPOS, A., et al. (2000). "Proyecto para la Mitigación del Riesgo Sísmico para Pereira, Dosquebradas Santa Rosa de Cabal". CARDER. Pereira.

⁶⁷ AGUDELO, J. UPEGUI, F. (2004) Evaluación Del Riesgo Sísmico Para La Zona Centro De La Ciudad De Armenia (Quindío). Universidad del Quindío.

Ec No. 28: $V = P(D/I)$

Se puede relacionar un índice de daño para cada intensidad del movimiento con una vulnerabilidad cualitativa asociada dependiendo del estado discreto del daño.

Para tal motivo se deben escoger escenarios para un sismo leve, moderado y fuerte con el fin de comparar el índice de daño global con los estados discretos del daño en cada uno de ellos. En nuestro caso se utilizó el sismo leve como uno lejano con período de retorno de 10 años, el sismo moderado como uno intermedio con período de retorno de 100 años y el sismo fuerte como uno cercano con período de retorno de 475 años.

Los índices de daño con que se va a entrar a la matriz deben contener tanto el daño estructural como el no estructural, para tal efecto se calcula mediante el programa PERCAL MILENIUM cada uno de estos índices y se obtiene el índice de daño total que según la opinión de expertos se puede calcular de la siguiente manera:

IDT = 0.3IDE + 0.7IDNE para estructuras aporticadas
IDT = IDE para estructuras en bahareque y mampostería

Donde:

IDT = Índice de daño total

IDE = Índice de daño estructural

IDNE = Índice de daño no estructural.

Con estos índices de daño y con sus respectivos estados discretos del daño se puede obtener una vulnerabilidad cualitativa de acuerdo con el siguiente criterio:

Según la normativa se permite que:

- Sismo leve: Daños leves en elementos no estructurales y ninguno en elementos estructurales.
- Sismo moderado: Daños considerables en elementos no estructurales y moderados en elementos estructurales.
- Sismo fuerte: Daños totales en elementos no estructurales y considerables en elementos estructurales sin colapso de la estructura.

Si una estructura en un sismo fuerte tiene daños grandes en sus elementos estructurales pero sin colapso de la estructura, su vulnerabilidad no debería ser media o alta sino baja; pero por el contrario si una edificación en un sismo leve colapsa su vulnerabilidad lógicamente sería alta.

Este criterio permite asociar a la vulnerabilidad además de las características físicas de la estructura, las características del suelo sobre el que está cimentado, pues se ha visto que los daños en una edificación están muy relacionados con esta variable.⁶⁸

Tabla 8. Relación de Índices de Daño con el Estado Discreto del Daño EERI 1996

Nivel	Índice de Daño (%)	Estado Discreto del Daño
Ninguno	0	Sin daño
Ligero	0 – 5	Daño no estructural aislado
Moderado	5 – 25	Daño considerable no estructural y daño estructural ligero
Severo	25 – 50	Daño estructural Considerable y daño no estructural excesivo
Total	50 – 70	Mas económico demoler que reparar
Colapso	> 70	Colapso de la Estructura

Fuente: JARAMILLO, J.D. (1997)

Tabla 9. Matriz de Relación entre el Índice de Daño y la Vulnerabilidad para Sistemas Aporticados

Vulnerabilidad	Tipo de Sismo		
	Leve	Moderado	Fuerte
Baja	0 - 5	0 – 25	0 – 50
Media	5 - 25	25 - 50	50 – 70
Alta	25 – 100	50 - 100	70 - 100

Fuente: JARAMILLO, J.D. (1997)

Teniendo en cuenta que en esta matriz están incluidos tanto los elementos estructurales como los no estructurales y sabiendo que para estructuras como: bahareque, mampostería simple y confinada, todos sus elementos son estructurales, por recomendación del Ingeniero PhD. Juan Diego Jaramillo esta matriz se redujo en un 30% para este tipo de edificaciones.⁶⁹

Tabla 10. Matriz Relación entre el Índice de Daño y la Vulnerabilidad para Sistemas de Bahareque y Mampostería

Vulnerabilidad	Tipo de Sismo		
	Leve	Moderado	Fuerte
Baja	0 - 3	0 – 17	0 – 35
Media	3 - 17	17 - 35	35 – 49
Alta	17 – 100	35 - 100	49 - 100

Fuente: JARAMILLO, J.D. (1997)

⁶⁸ AGUDELO, J. UPEGUI, F. (2004) Evaluación Del Riesgo Sísmico Para La Zona Centro De La Ciudad De Armenia (Quindío). Universidad del Quindío. Cap. 8 p. 28

⁶⁹ JARAMILLO, J.D. (1997)

PERDIDAS MATERIALES

Las pérdidas materiales totales se calculan como el producto del costo de los elementos estructurales por el porcentaje de pérdidas de los elementos estructurales, más el costo de los elementos no estructurales por el porcentaje de pérdidas para los elementos no estructurales.

PERDIDAS MATERIALES ESTRUCTURALES

Las pérdidas materiales estructurales se calculan de la siguiente manera:

Pérdidas estructurales = $m^2 \text{const} * IDE * \$/m^2 * \% \text{valor de la parte estructural}$

Donde:

$m^2 \text{const}$ = metros cuadrados construidos

IDE = Índice de daño estructural

$\$/m^2$ = costo por metro cuadrado

PERDIDAS MATERIALES NO ESTRUCTURALES

Calculo de las pérdidas materiales no estructurales:

Pérdidas no estructurales = $m^2 \text{const} * IDNE * \$/m^2 * \% \text{valor parte no estructural}$

Donde:

$m^2 \text{const}$ = metros cuadrados construidos

IDNE = Índice de daño no estructural

$\$/m^2$ = costo por metro cuadrado

➤ EJEMPLO DE CÁLCULO

A continuación se realizara un ejemplo de cálculo en el cual se mostrara el Procedimiento anteriormente descrito.

Descripción de la estructura:

Identificación del predio: 1000000000000066 CII 70 MZ 4 CS 13

Tipo de suelo: LLENOS 1

Área de la base: 42 m²

Densidad de construcción: 90%

Tipo de estructura: PORTICO

Tipo de cubierta: Placa de concreto

Uso: Residencial
Número de pisos. 2
Periodo de construcción: después de 1998
Estrato socioeconómico: bajo

▪ **Cálculo de Vulnerabilidad para un Sismo Cercano con Aa: 280 gales**

1. Se calcula el periodo de la estructura

El periodo de la estructura se calcula con la siguiente expresión

$$T = CT * (XP * 2.8)^{0.75}$$

Donde:

$$CT = 0.05$$

$$XP = 2 \text{ pisos}$$

$$T = 0.182 \text{ seg}$$

Se debe corregir el periodo de acuerdo al tipo de cubierta que la estructura posea.

$$\text{Ec No. 29: } T' = T \sqrt{1 - FMCUB(1 - FMTEC)}$$

Donde

$$T = 0.182 \text{ seg}$$

$$FMCUB = 0.91 \text{ (Tabla 5)}$$

$$FMTEC = 1.0 \text{ (Tabla 6)}$$

$$T' = 0.182 \text{ seg.}$$

2. Se calculan las solicitaciones de la estructura, para calcularlas se utiliza el espectro de respuesta para el sismo cercano obtenido por medio del programa EERA (SHAKE), que tiene para periodos de 0 a 0.6 seg. Un paso de 0.01 seg., de 0.6 a 1.0 seg. Un paso de 0.02 seg., y de 1.0 a 2.5 seg. Un paso de 0.05 seg.

Para $T = 0.182$ seg en el espectro de respuesta le corresponde un $A_s = 1.82g$

3. Cálculo de la resistencia de la estructura - La resistencia de la estructura se calcula con la siguiente expresión:

$$A_{re} = A_{ru} * (0.8 / (FMTEC + (XP - 1.) + 0.2)) / FRTIPO$$

Donde:

$$A_{ru} = (FRESTM * FREDAM * FRUSOM) * 2.47g$$

$$A_{ru} \text{ para Pórtico es: } 1.2 \text{ g (archivo de datos generales *.GEN)}$$

$$FMTEC = 1.0 \text{ (Tabla 6)}$$

XP = 2 pisos
FRTIPO = 2.0 (Archivo de datos generales *.GEN)
Are = 0.36 g

Esta aceleración debe corregirse por factores que tengan en cuenta el estrato, el uso y la edad.

$Are' = Are * FRESTM (IESTRA) * FRUSOM (IUSOS) * FREDAM (IEDAD)$

FRESTM = 0.6 (archivo de datos generales *.GEN)
FRUSOM = 0.8 (archivo de datos generales *.GEN)
FREDAM = 1.0 (archivo de datos generales *.GEN)

$Are' = 0.173 \text{ g}$

4. Cálculo de la deriva solicitada – Se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$DSOL = As * 981. * T' * T' / 4. / 3.1416 / 3.1416 * 1.57 * 1.0 / 280. / XP$$

Donde:

T' = 0.182 seg
As = 1.82 g
XP = 2 pisos
DSOL = 0.0042 m

5. Cálculo del índice de daño - Se calcula de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\text{Ec No. 30: } IDE = \frac{Ddem - 1}{UMON - 1}$$

Donde

Ddem = As / Are = 1.82 / 0.173 = 10.52
UMON = 28 (Archivo de datos generales *.GEN)
IDE = 0.35
IDT = 0.35

6. Cálculo del índice de vulnerabilidad - El índice de vulnerabilidad se calcula como:

IV = IDT * 100
IV = 35

De acuerdo con el valor de IV y teniendo en cuenta que se trata de un sismo fuerte se entra a la matriz de la tabla 10, obteniéndose una vulnerabilidad indicativa MEDIA para esta estructura.

7. Cálculo de las pérdidas materiales – Teniendo en cuenta que se trata de una estructura en mampostería únicamente se calcula la fracción de pérdidas estructurales ya que todos los elementos son de este tipo.

$$\% \text{Pérdidas estructurales} = \text{IDT} / \text{IDPMT}$$

Donde

IDPMT = es el índice de daños asociado a las pérdidas materiales totales de elementos estructurales

$$\text{IDPMT} = 0.6 \text{ (archivo de entradas generales *.GEN)}$$

$$\% \text{ pérdidas estructurales} = 0.58\%$$

$$\text{Pérdidas estructurales} = m^2_{\text{const}} * \text{porcentaje de pérdidas estructurales} * \$/m^2 *$$

%valor de la parte estructural

Donde:

$$m^2_{\text{const}} = \text{Area base} * \text{Denc} * \text{XP}$$

$$m^2_{\text{const}} = 84 \text{ m}^2$$

$\$/m^2 = 544000$ de acuerdo a la matriz de costos del archivo de entrada general.

*.GEN

%valor de la parte estructural (FCOST) = 1 (Archivo de entrada general *.GEN)

$$\text{Pérdidas estructurales} = \$ 26.503.680$$

▪ **Cálculo de Vulnerabilidad para un Sismo Intermedio con Aa: 180 gales**

1. Se calcula el periodo de la estructura - El periodo de la estructura se calcula con la siguiente expresión:

$$T = CT * (XP * 2.8)^{0.75}$$

Donde:

$$CT = 0.05$$

$$XP = 2 \text{ pisos}$$

$$T = 0.182 \text{ seg}$$

Se debe corregir el periodo de acuerdo al tipo de cubierta que la estructura posea.

Ec No. 31: $T' = T \sqrt{1 - FMCUB(1 - FMTEC)}$

Donde

T = 0.182 seg

FMCUB = 0.91 (Tabla 5)

FMTEC = 1.0 (Tabla 6)

T' = 0.182 seg.

2. Se calculan las solicitaciones de la estructura - Para calcular las solicitaciones de la estructura se utiliza el espectro de respuesta para el sismo cercano, que tiene para periodos de 0 a 0.6 seg. Un paso de 0.01 seg., de 0.6 a 1.0 seg. un paso de 0.02 seg., y de 1.0 a 2.5 seg. Un paso de 0.05 seg.

Para T = 0.182 seg en el espectro de respuesta le corresponde un As = 0.97 g

3. Cálculo de la resistencia de la estructura. La resistencia de la estructura se calcula con la siguiente expresión:

$$Are = Aru * (0.8 / (FMTEC + (XP - 1.) + 0.2) / FRTIPO)$$

Donde:

Aru = (FRESTM * FREDAM * FRUSOM) * 2,47g

Aru para Pórtico es: 1.2 g (archivo de datos generales *.GEN)

FMTEC = 1.0 (Tabla 6)

XP = 2 pisos

FRTIPO = 2.0 (Archivo de datos generales *.GEN)

Are = 0.36 g

Esta aceleración debe corregirse por factores que tengan en cuenta el estrato, el uso y la edad.

$Are' = Are * FRESTM (IESTRA) * FRUSOM (IUSOS) * FREDAM (IEDAD)$

FRESTM = 0.6 (archivo de datos generales *.GEN)

FRUSOM = 0.8 (archivo de datos generales *.GEN)

FREDAM = 1.0 (archivo de datos generales *.GEN)

Are' = 0.173 g

4. Cálculo de la deriva solicitada - Se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$DSOL = As * 981. * T' * T' / 4. / 3.1416 / 3.1416 * 1.57 * 1.0 / 280. / XP$$

Donde

$$T' = 0.182 \text{ seg}$$

$$As = 0.97 \text{ g}$$

$$XP = 2 \text{ pisos}$$

$$DSOL = 0.0022 \text{ m}$$

5. Cálculo del índice de daño - Se calcula de acuerdo con la siguiente expresión:

Ec No. 32:
$$IDE = \frac{Ddem - 1}{UMON - 1}$$

Donde

$$Ddem = As / Are = 0.97 / 0.173 = 5.6$$

$$UMON = 28 \text{ (Archivo de datos generales *.GEN)}$$

$$IDE = 0.17$$

$$IDT = 0.17$$

6. Cálculo del índice de vulnerabilidad - El índice de vulnerabilidad se calcula como:

$$IV = IDT * 100$$

$$IV = 17$$

De acuerdo con el valor de IV y teniendo en cuenta que se trata de un sismo fuerte se entra a la matriz de la tabla 10, obteniéndose una vulnerabilidad indicativa MEDIA para esta estructura.

7. Cálculo de las pérdidas materiales – Teniendo en cuenta que se trata de una estructura en mampostería únicamente se calcula la fracción de pérdidas estructurales ya que todos los elementos son de este tipo.

$$\% \text{Pérdidas estructurales} = IDT / IDPMT$$

Donde

IDPMT = es el índice de daños asociado a las pérdidas materiales totales de elementos estructurales

$$IDPMT = 0.6 \text{ (archivo de entradas generales *.GEN)}$$

$$\% \text{ pérdidas estructurales} = 0.28\%$$

Donde:

$$m2 \text{ const} = \text{Área base} * \text{Denc} * XP$$

$$m2 \text{ const} = 84 \text{ m}^2$$

\$/m2 = 544000 de acuerdo a la matriz de costos del archivo de entrada general

*.GEN

%valor de la parte estructural (FCOST) = 1 (Archivo de entrada general *.GEN)

$$\text{Pérdidas estructurales} = \$ 12.794.880$$

▪ **Cálculo de Vulnerabilidad para un Sismo lejano con Aa: 50 gales**

1. Se calcula el periodo de la estructura – El periodo de la estructura se calcula con la siguiente expresión:

$$T = CT * (XP * 2.8)^{0.75}$$

Donde:

$$CT = 0.05$$

$$XP = 2 \text{ pisos}$$

$$T = 0.182 \text{ seg}$$

Se debe corregir el periodo de acuerdo al tipo de cubierta que la estructura posea.

Ec No. 33:
$$T' = T \sqrt{1 - FMCUB(1 - FMTEC)}$$

Donde

$$T = 0.182 \text{ seg}$$

$$FMCUB = 0.91 \text{ (Tabla 5)}$$

$$FMTEC = 1.0 \text{ (Tabla 6)}$$

$$T' = 0.182 \text{ seg.}$$

2. Se calculan las solicitaciones de la estructura – Para calcular las solicitaciones de la estructura se utiliza el espectro de respuesta para el sismo cercano, que tiene para periodos de 0 a 0.6 seg. un paso de 0.01 seg., de 0.6 a 1.0 seg. un paso de 0.02 seg., y de 1.0 a 2.5 seg. un paso de 0.05 seg.

Para $T = 0.182 \text{ seg}$ en el espectro de respuesta le corresponde un $As = 0.49g$

3. Cálculo de la resistencia de la estructura. – La resistencia de la estructura se calcula con la siguiente expresión:

$$Are = Aru * (0.8 / (FMTEC + (XP - 1.) + 0.2) / FRTIPO$$

Donde:

$$Aru = (FRESTM * FREDAM * FRUSOM) * 2.47g$$

Aru para Pórtico es: 1.2 g (archivo de datos generales *.GEN)

FMETC = 1.0 (Tabla 6)

XP = 2 pisos

FRTIPO = 2.0 (Archivo de datos generales *.GEN)

Are = 0.36 g

Esta aceleración debe corregirse por factores que tengan en cuenta el estrato, el uso y la edad.

$$Are' = Are * FRESTM (IESTRA) * FRUSOM (IUSOS) * FREDAM (IEDAD)$$

FRESTM = 0.6 (archivo de datos generales *.GEN)

FRUSOM = 0.8 (archivo de datos generales *.GEN)

FREDAM = 1.0 (archivo de datos generales *.GEN)

$$Are' = 0.173 g$$

4. Cálculo de la deriva solicitada - Se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$DSOL = As * 981. * T' * T' / 4. / 3.1416 / 3.1416 * 1.57 * 1.0 / 280. / XP$$

Donde:

$$T' = 0.182 \text{ seg}$$

$$As = 0.49 g$$

XP = 2 pisos

$$DSOL = 0.0011 \text{ m}$$

5. Cálculo del índice de daño – Se calcula de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\text{Ec No. 34: } IDE = \frac{Ddem - 1}{UMON - 1}$$

Donde:

$$Ddem = As / Are = 0.49 / 0.173 = 2.8$$

UMON = 28 (Archivo de datos generales *.GEN)

$$IDE = 0.066$$

$$IDT = 0.066$$

6. Cálculo del índice de vulnerabilidad - El índice de vulnerabilidad se calcula como:

$$IV = IDT * 100$$

$$IV = 6.66$$

De acuerdo con el valor de IV y teniendo en cuenta que se trata de un sismo fuerte se entra a la matriz de la tabla 10, obteniéndose una vulnerabilidad indicativa MEDIA para esta estructura.

7. Cálculo de las pérdidas materiales - Teniendo en cuenta que se trata de una estructura en mampostería únicamente se calcula la fracción de pérdidas estructurales ya que todos los elementos son de este tipo.

$$\% \text{Pérdidas estructurales} = IDT / IDPMT$$

Donde:

IDPMT = es el índice de daños asociado a las pérdidas materiales totales de elementos estructurales

$$IDPMT = 0.6 \text{ (archivo de entradas generales *.GEN)}$$

$$\% \text{ pérdidas estructurales} = 0.11\%$$

Donde:

$$m2 \text{ const} = \text{Área base} * Denc * XP$$

$$m2 \text{ const} = 84 \text{ m}^2$$

\$/m2 = 544000 de acuerdo a la matriz de costos del archivo de entrada general

*.GEN

$$\% \text{valor de la parte estructural (FCOST)} = 1 \text{ (Archivo de entrada general *.GEN)}$$

$$\text{Pérdidas Estructurales} = \$ 5.026.560$$

Como conclusión podemos decir que la estructura tiene una vulnerabilidad MEDIA y presenta pérdidas de: \$26.503.680, \$12.794.880 y \$5.026.560 para un sismo Fuerte, moderado y leve respectivamente.

Así mismo se define que la vulnerabilidad es media, ya que la proporción de pérdidas no fue mayor o total, sus daños no representan un colapso absoluto de la estructura, como para asegurar que se presenta una vulnerabilidad alta o total.

11. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA AL SITIO EN ESTUDIO

11.1 CALCULO DE LA AMENAZA SÍSMICA

11.1.1 Evaluación Probabilística De La Amenaza Sísmica

11.1.1.1 Metodología Para La Evaluación De La Amenaza Sísmica.

Dependiendo de la disponibilidad de los datos y de la calidad de la información, existen diversas metodologías utilizables para determinar la amenaza sísmica de un sitio en particular, las cuales pueden variar desde aproximaciones muy simples basadas en percepciones y conceptos de experto, hasta modelos matemáticos muy complejos que involucran la teoría de la probabilidad.

Sin importar cuál sea la metodología escogida para la evaluación de la amenaza sísmica, todas ellas tienen en común que su acercamiento siempre será probabilístico y no existen modelos deterministas para dicha evaluación.

Esto quiere decir que siempre existirá la probabilidad que los predictores de aceleración, velocidad o desplazamiento arrojados por el modelo siempre tendrán la posibilidad (probabilidad baja, pero existe) de ser excedidos en el lapso de exposición escogido.

La metodología que se utilizara en este estudio para determinar la aceleración máxima esperable en la zona de estudio, es la metodología de Línea, la cual está basada en el modelo de Cornell, estos modelos han sido utilizados ampliamente en el territorio nacional y han demostrado ser un acercamiento adecuado al problema que se está manejando.⁷⁰

El modelo de Línea Fuente básicamente involucra todos los aspectos fundamentales que intervienen en la amenaza sísmica de un sitio: Fuentes Sísmicas y sus tasas de peligrosidad (Representadas por datos geométricos como distancia, longitud, profundidad, buzamiento, ancho de corredor, tipo de falla etc., Estudio del número y tipo de sismos en el pasado y la magnitud máxima probable que puede llegar a tener un sismo que produzca la falla (esto basado en el estudio probabilístico del catálogo de sismos y en los datos arrojados por los estudios de Neotectónica previos) Ecuaciones de Atenuación válidas para el tipo de falla y la región. Longitud máxima de ruptura esperable en la falla (de acuerdo a ecuaciones de ruptura disponibles y que concuerden con la información de Neotectónica).

⁷⁰ DER KIUREGHIAN, A. and ANG, H-S, A., (1.975). "A line source model for seismic risk analysis". Illinois University.

➤ FALLAS ACTIVAS (NEOTECTONICA)

- **Definición De Fuentes Sísmicas.** En diversos estudios anteriores de Neotectónica se ha podido establecer que la amenaza sísmica para la región y el sitio en particular está condicionada principalmente a la actividad de dos fuentes sísmicas claramente diferenciadas, las cuales son: Fallas superficiales o corticales, las cuales van hasta una profundidad máxima de 35 Km Fuente Intermedia a profunda (Subducción, la cual va entre los 60 Km y los 220 Km de profundidad).⁷¹
- **Fuente Subducción Intermedia y Profunda.** Históricamente, son varios los sismos originados en la fuente de subducción intermedia y profunda, entre ellos resaltan por su poder destructivo, los sismos ocurridos el 4 de febrero de 1938 (Mw=7.0, prof. 160 km.), el 20 de diciembre de 1961 (Mb=6.3, prof. 176 km.), 30 de julio de 1962 (Mw=6.7, prof. 108 km.), 23 de noviembre de 1979 (Mb=6.4, prof. 108 km.) y 8 de febrero de 1995 (Mw=6.6, prof. 100 km.). Adicionalmente, se han presentado sismos que ameritan ser resaltados, dado que fueron sentidos, en diversas ciudades de la región del eje cafetero, con intensidades de hasta .V.⁷²

Estos sismos son los ocurridos en las fechas del 24 de abril de 1973 (Mb=5.1, prof. 118), 29 de noviembre de 1988 (Mb=5.7, prof. 175 km.), 23 de noviembre de 1990 (Ms=6.0, prof. 138 km.), 19 de agosto de 1995 (Ms=6.5, prof. 126 km.), 17 de noviembre de 1996 (Mw=5.2, prof. 114 km.), 19 de febrero de 1997 (Mb=5.7, 108 km.), septiembre 9 de 1997 (Mw=6.7, prof. 221 km.) y diciembre 11 de 1997 (Mw=6.3, prof. 193 km.).

La sismicidad intermedia y profunda, relacionada al plano de subducción muestra ciertas concentraciones volumétricas particulares, de alguna forma fácilmente delimitable y asimilable a un patrón de comportamiento dinámico específico. Una de estas zonas, coincide con la localización de todos los sismos citados anteriormente.

- **Fallas Activas Superficiales que pueden tener incidencia el Área en Estudio.** Tabla 8 Criterios para la Selección de las magnitudes últimas de las diferentes fallas para el presente estudio.⁷³

⁷¹ GUZMAN, J. FRANCO, G. y OCHOA, M. (1998). Evaluación Neotectónica. Proyecto para la Mitigación del riesgo Sísmico de Pereira, Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal. Carder. 148 p.

⁷² ESPINOSA, A. (En preparación). "Sismicidad histórica del Quindío". Universidad del Quindío, Armenia.

⁷³ GUZMAN, J. FRANCO, G. PARIS G., TABOADA A.(1997). "Evaluación Neotectónica para el Proyecto para la Mitigación del riesgo Sísmico de Pereira, Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal". Carder. Pereira.

Tabla 11. Fuentes de Fallas Geológicas

Fuente	MAG. Máxima (Mw)	Criterios
Cauca	7.1	<ul style="list-style-type: none"> Rectilinearidad en tramos de hasta 45 km. Evidencia neotectónica (Interfluvios desplazados hasta 60 metros en múltiples eventos, y notables abanicos aluviales a lo largo de su trazo).
Cucuana	6.9	<ul style="list-style-type: none"> Rectilinearidad del trazo de hasta 35 km. Evidencia neotectónica moderada (facetas, desplazamientos de cauces e interfluvios).
Fallas del Magdalena	7.5	<ul style="list-style-type: none"> Notable continuidad de la evidencia neotectónica. Evidencia neotectónica diagnóstica (Escarpes de falla juveniles y desplazamiento de cauces claramente atribuible al movimiento de la falla) Evidencia sismológica instrumental e histórica (Sismos de 1805, 1827 y 1967)
Frontal Cordillera Oriental	8.0	<ul style="list-style-type: none"> Rectilinearidad de trazos en tramos de hasta 60 km. Evidencia neotectónica de ruptura superficial y deformación de depósitos cuaternarios holocénicos. Evidencia sismológica instrumental e histórica (ej. Sismo de Tauramena).
Garrapatas	7.2	<ul style="list-style-type: none"> Contexto tectónico regional (límite Sur Bloque Choco y dinámica particular de fallas, inversa con componente dextral bajo esfuerzo NW) Rectilinearidad del trazo en una longitud de hasta 45 km. Sismología instrumental (concentración de sismos)
Ibague	6.9	<ul style="list-style-type: none"> Evidencia neotectónica diagnóstica indiscutible (Escarpes de falla juveniles, lagunas de falla, lomos de ballena y lomos de presión. Deformación y desplazamiento de depósitos cuaternarios holocénicos (últimos 10.000 años). Rectilinearidad de su trazo de hasta 35 km. Cambio de rumbo en el sector de Piedras (Dobladura compresiva).
Junín – Sambiambí	7.0	<ul style="list-style-type: none"> Rectilinearidad notable de hasta 50 km. Desplazamiento de depósitos holocénicos.
Garrapatas	7.2	<ul style="list-style-type: none"> Contexto tectónico regional (límite Sur Bloque Choco y dinámica particular de fallas, inversa con componente dextral bajo esfuerzo NW) Rectilinearidad del trazo en una longitud de hasta 45 km. Sismología instrumental (concentración de sismos)
Ibague	6.9	<ul style="list-style-type: none"> Evidencia neotectónica diagnóstica indiscutible (Escarpes de falla juveniles, lagunas de falla, lomos de ballena y lomos de presión. Deformación y desplazamiento de depósitos cuaternarios holocénicos (últimos 10.000 años). Rectilinearidad de su trazo de hasta 35 km. Cambio de rumbo en el sector de Piedras (Dobladura compresiva).
Junín – Sambiambí	7.0	<ul style="list-style-type: none"> Rectilinearidad notable de hasta 50 km. Desplazamiento de depósitos holocénicos.

Continuación de la Tabla Número 8

Mulatos	7.3	<ul style="list-style-type: none"> Rectilinearidad del trazo en tramos de hasta 60 km. Desplazamiento de depósitos terciarios y cuaternarios. <p>Cuencas anómalas cerca de Guayabal.</p> <ul style="list-style-type: none"> Sismicidad instrumental
Murindo-Atrato	7.6	<ul style="list-style-type: none"> Evidencia sísmológica instrumental e histórica (ej. Sismos de octubre de 1992). Evidencia neotectónica contundente de ruptura superficial.
Naya Micay	7.2	<ul style="list-style-type: none"> Rectilinearidad notable de hasta 60 Km. <p>Desplazamiento de depósitos holocénicos.</p>
Fuente	Mag. Máxima (Mw)	Criterios
Palestina	7.2	<ul style="list-style-type: none"> Rectilinearidad en tramos mayores a 40 km Desplazamiento de depósitos holocénicos volcánicos y glaciares. Desplazamiento de superficies de erosión.
Romeral	7.2	<ul style="list-style-type: none"> Escarpes de falla en cuaternarios con desplazamientos totales que sectorialmente superan los 60 metros en la componente vertical y los 180 metros en la horizontal (Ejemplos notables: Fallas Armenia, Montenegro y Quebradanueva; además sector de La Bella al oriente de Pereira y sector al norte de Salento). Cuencas de tracción del sector de los cuervos (cerca de Chinchina) y Filadelfia. Interfluvios deflectados y desplazados. Valles aluviales anómalos y colgados en el sector sur del Depto del Quindío
Salinas	7.5	<ul style="list-style-type: none"> Rectilinearidad y continuidad del trazo. Evidencia neotectónica (sectorialmente desplazamiento de depósitos aluviales y lagunas de falla). Evidencia sísmológica instrumental.
Bahía Solano	7.5	<ul style="list-style-type: none"> Sismología instrumental (26 de sept. De 1970, 6.5). Ruptura superficial (hasta 7 cm) y subsidencia (20 a 30 cm) para el mismo evento. Evidencia neotectónica (control notable de la línea de costa, con levantamiento y depresiones asociados). Depósitos aluviales con troncos de árboles en diferentes niveles evidenciando sedimentación rápida durante varios períodos (sismos?). Estos evidencian eventos mucho mayores al de 1970.

Fuente: GUZMAN J. FRANCO & G. PARIS G., TABOADA A.(1997) – CARDER PEREIRA

- **Sismicidad Instrumental.** Debido a que el último estudio realizado para la Evaluación de la Amenaza Sísmica de la Región se realizó en año 2000,⁷⁴ se hizo necesaria la actualización del Catálogo Sísmico de Colombia desde el año 2000 hasta donde fue posible la obtención de datos, en este caso hasta Septiembre de 2001, los datos de la Red Nacional Sísmológica de

⁷⁴ ALCAZAR, E.F., HENAO, N., RUIZ, R.E. (1993). "Evaluación del escenario de pérdidas en caso de terremoto para la ciudad de Armenia (Sector 1)". Trabajo de Grado (Ingeniería Civil). Programa de Ingeniería Civil Universidad del Quindío. Armenia.

Colombia RSNC, fueron estudiados y se eliminaron la réplicas menores y los nidos sismológicos de magnitud despreciable, también se uniformizaron en magnitud todos los sismos que no lo estaban usándose las ecuaciones de transformación aceptadas por la RSNC. El catalogo en cuestión tiene información desde 1566 hasta Septiembre de 2001.⁷⁵ También es conveniente clarificar que desde Septiembre de 2001 hasta la fecha no han ocurrido en la zona eventos importantes que modifiquen sustancialmente la información instrumental utilizada en la evaluación de la amenaza de la zona en estudio. Para las magnitudes se utilizaron los mismos criterios del trabajo de INGEOMINAS en 1995:

Para convertir las magnitudes de la RSNC a Mb se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$M_b = M_l - 0.4$, para M_l menor o igual 5.3	Ec. No. 35
$M_b = 1.24M_l - 2$, para M_l Mayor a 5.3	Ec. No. 36

Para convertir de Mb a Ms se utilizaron las ecuaciones de Geller así:

$M_s = M_b - 1.3$ para Mb Menores de 4.3	Ec. No. 37
$M_s = 1.5M_b - 3.4$, Para Mb entre 4.3 y 5.5	Ec. No. 38
$M_s = 3M_b - 11.7$ para Mb entre 5.5 y 6	Ec. No. 39

Para Ms mayores a 6 se toma el reporte de Ms de la Red sísmica mundial.

- **Modelo De Línea Fuente.** Según Armen Der Kiureghian y H.S. Ang,⁷⁶ se desarrolla el modelo de línea fuente, cuyas hipótesis se basan en que las fallas geológicas son las principales fuentes potenciales destructivas de los sismos, pero para la evaluación de la amenaza sísmica se requieren conocer las diferentes fallas que afectan el sitio de estudio y no siempre se conocen estos sistemas de fallamiento totalmente bien; para ello define tres tipos de fallas así:
 - La fuente tipo uno corresponde a fallas geológicas de expresión bien definida.
 - La fuente tipo dos corresponde a sistemas de fallamiento no bien definidos pero sobre los cuales hay motivos suficientes para suponer una cierta dirección.
 - La fuente tipo tres corresponde a estructuras aleatoriamente ubicadas como el caso de sismicidad que a menudo se observa en Colombia donde hay regiones con epicentros que no son asociables a fallas conocidas.

⁷⁵ ESPINOSA, A. (En preparación). "Sismicidad histórica del Quindío". Universidad del Quindío, Armenia.

⁷⁶ DER KIUREGHIAN, A. and ANG, H-S, A., (1.977). "A Fault rupture model for seismic risk analysis". Illinois University.

- **Formulación General Del Modelo.** Se asume que la ocurrencia de sismos en la región puede ser modelado por un proceso de Poisson, con una ocurrencia media de λ_M (por año). Para esto, las siguientes suposiciones deben ser:
 - Los sismos son espacialmente independientes
 - Los sismos son temporalmente independientes
 - La probabilidad que dos eventos sísmicos sucedan en el mismo sitio y en el mismo instante es cero.

La primera suposición implica que la ocurrencia o no ocurrencia de un evento sísmico en un sitio no afecta la ocurrencia o no ocurrencia de otro evento sísmico en otro sitio.

La segunda suposición implica que los eventos sísmicos carecen de "memoria" en el tiempo, la ocurrencia o no ocurrencia de un sismo no depende de la ocurrencia o no ocurrencia de otro evento sísmico ocurrido en el mismo sitio en el pasado, es decir este proceso Poissoniano no distingue entre Premonitores y/o Réplicas del evento principal.

Para subsanar esta deficiencia se deben emplear Modelos de procesos Markovianos; pero otra información sismológica adicional no se posee en estas regiones que permitan usar modelos no Poissonianos. De todas formas la utilización de los parámetros básicos para la evaluación de la amenaza sísmica trae de por sí incluidas incertidumbres asociadas a diversos aspectos, como el tipo de ecuaciones usadas (ya que ninguna puede predecir exactamente la atenuación, la longitud de ruptura etc.), por lo tanto, existe una incertidumbre asociada a dichas expresiones que no deben emplearse directamente para diseño pues solo representan un valor promedio que puede superarse fácilmente.⁷⁷ Su empleo se realiza considerando la incertidumbre asociada, haciendo uso de una distribución estadística y dando así un cubrimiento apropiado que conduzca a un valor que tenga en cuenta la dispersión.

Por otra parte, todo modelo de amenaza tiene asociadas otras incertidumbres tales como la falta de confiabilidad de la información que pueden enmascarar la frecuencia promedio, la ubicación y determinación de los focos y magnitudes y la ubicación de las fallas geológicas.⁷⁸

⁷⁷ SARRIA, A. (1995). "INGENIERIA SISMICA". Ediciones Uniandes. Bogota.

⁷⁸ *Ibíd.*,

De acuerdo a Sarria: "Todas estas consideraciones conducen a Der Kiureghian (1975) a manejar el problema resumiendo de la siguiente manera:

La variable aleatoria "aceleración" puede representarse por la expresión:

Ec. No. 40: $\ln Y_a = \ln Y + Z$

En la cual:

Y_a = aceleración real ocurrencia de otro evento sísmico ocurrido en el mismo sitio en el pasado, es decir este proceso Poissoniano no distingue entre Premonitores y/o Réplicas del evento principal.

Empleando el teorema de la probabilidad total se establece la probabilidad de que $Y_a > Y$ mediante la expresión:

Ec. No. 41: $P(Y_a > Y) = P(\ln Y_a > \ln Y)$

$$P(Y_a \geq Y) = \int_{-\infty}^{\infty} P\left(\ln Y_a \geq \frac{\ln Y}{Z} = z\right) F(z) dz$$

La referencia anotada toma la variable Z en la forma siguiente:

Ec. No. 42: $Z = \ln X_1 - b \ln X_2$

Expresión en la cual X_1 es una variable aleatoria que tiene en cuenta las incertidumbres asociadas al camino recorrido por el tren ondulatorio, las condiciones del suelo, la forma de la ecuación general de atenuación. Por otra parte, X_2 es una variable aleatoria que tiene en cuenta la incertidumbre asociada a R en la ecuación de longitud de Ruptura. La expresión de Z está dominada por la variable X_1 , que tiene distribución normal; es lógico entonces suponer que Z también tiene distribución normal.

Por lo tanto:

Ec. No. 43: $P(Y_a > Y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} * \int_{-\infty}^{\infty} P(Y > ye^{-z}) * e^{-\left[\frac{(z-\mu)}{\sigma}\right]}$

Expresión en la cual:

μ = valor medio

σ = desviación estándar

Se ha establecido que $\mu=0$ y $\sigma=1.19, 0.89$ y 0.57 , respectivamente. Los límites de integración de la ecuación pueden tomarse iguales a -3σ y $+3\sigma$.

Introducidos los parámetros al modelo Línea Fuente con un cubrimiento por incertidumbre a la función de atenuación del 90% se generan las curvas de aceleración horizontal local máxima probable en terreno firme”.⁷⁹

Determinación de $q(y)$ i

La probabilidad de excedencia de algún valor específico de y , dada la ocurrencia de un sismo en una fuente i , se aplicará a cada tipo de fuente. Aplicando el teorema de probabilidad total se obtiene la ecuación general así:

$$\text{Ec. No. 44} \quad q(y) = P(Y > y | E) = \int_{M_o}^{M_u} P(Y > y | E(m)) * f(m) dm$$

Para cada una de las fallas tipo se aplica esta ecuación general, teniendo en cuenta la particularidad de cada una. Las entradas para el programa numérico de análisis son las tasas de recurrencia μ , las relaciones de la ecuación de ruptura de la falla, la magnitud última y mínima, la ecuación de atenuación de onda, el parámetro β de sismicidad regional, la geometría de las fallas.⁸⁰

La probabilidad de excedencia anual se calcula para valores específicos de incrementos de y en gales (cm/seg^2) o en cm/seg , si es velocidad o en cm , si se trata de desplazamiento. Establecidas las características geométricas y físicas del modelo, se introduce la noción de atenuación de las aceleraciones y se producen rupturas ficticias en las diferentes fuentes del modelo. Estas rupturas envían señales hacia el área o proyecto que se está evaluando, las cuales se van debilitando con la distancia.

El modelo integra las señales provenientes de cada una de las fuentes y las adiciona en términos de la probabilidad de que generen determinado nivel de aceleración local; se llega a la aceleración local máxima probable en terreno firme producida como consecuencia de rupturas independientes de las diferentes fuentes sismo – génicas que conforman el modelo.⁸¹

⁷⁹ SARRIA, A. (1995). “INGENIERIA SISMICA”. Ediciones Uniandes. Bogota.

⁸⁰ CANO L., (1994) Sistema de Información Sísmica – SIS., Proyecto de Grado Ingeniería Civil, Universidad del Quindío, Armenia - Quindío.

⁸¹ SARRIA, A. (1995). “INGENIERIA SÍSMICA”. Ediciones Uniandes. Bogota.

11.2 ECUACIONES DE ATENUACION

Los sismos atenúan su energía en función de la distancia al sitio de análisis, es decir la menor distancia entre el sitio de interés y la eventual zona de ruptura determina la máxima intensidad en el sitio.

En Colombia se han instalado cerca de 100 acelerógrafos a lo largo de una franja desde bahía Solano hasta Villavicencio. El propósito fundamental de esta configuración, es el de estudiar la atenuación de las ondas sísmicas a través de las tres cordilleras. Como es bien sabido el fallamiento de las cordilleras Colombianas, tiene en términos generales, una orientación Norte-Sur. Por lo tanto es de gran interés la atenuación de las ondas en el sentido Este-Oeste. Con estas estaciones en operación se podrá por fin tener unas ecuaciones de atenuación de onda para los estudios de amenaza sísmica en Colombia en un tiempo relativamente corto. Una vez establecido el patrón de recurrencia para los sismos subducción intermedia y profunda, se requería buscar un patrón de referencia regional, con miras a comparar, el comportamiento de diversas leyes de atenuación establecidas en diversos estudios. Dada la fuente en análisis, lo más adecuado resultaba buscar una ecuación efectuada por medio de datos correspondientes a un ambiente tectónico de zona de subducción. Este es el caso del estudio de Crouse, C.⁸² "Ground Motion Attenuation Equations for Earthquakes on Cascadia Subduction Zone". La ecuación correspondiente se indica a continuación:

$$\text{Ec. No. 45} \quad \ln(PGA)=6.36+1.76M-2.73\ln(R+1.58e^{0.608M})+0.00916h$$

Donde:

PGA=Aceleración horizontal máxima

M=Magnitud momento

R=Distancia hipocentral en Km.

h=Profundidad del evento en Km.

En el caso de las leyes de atenuación a emplear para los sismos superficiales, las escogencias de los sismos de referencia para validación comparativa, hace énfasis del sismo del 25 de enero de 1999. En la Figura 13 se muestra la comparación de las aceleraciones del Sismo del Quindío con diferentes ecuaciones de atenuación, con el fin de tener una validación de las ecuaciones más utilizadas en nuestro medio.

Del análisis de la Figura 13 se define que las ecuaciones de atenuación más recomendables a emplear en el estudio son:

⁸² OJEDA, A.E. y MARTÍNEZ, S.E.(1997). "Modelo para la atenuación de la energía Sísmica en Colombia a partir de sismos registrados por la Red Nacional de Acelerógrafos". XII Jornadas Estructurales de la Ingeniería de Colombia. Santafé de Bogotá. pp. 166-185.

- Betbeder-Matibet, J. (1995) Campo Cercano:

Ec. No. 46 $A = 1.08 * (10^{0.25Mw} / R)$

Donde:

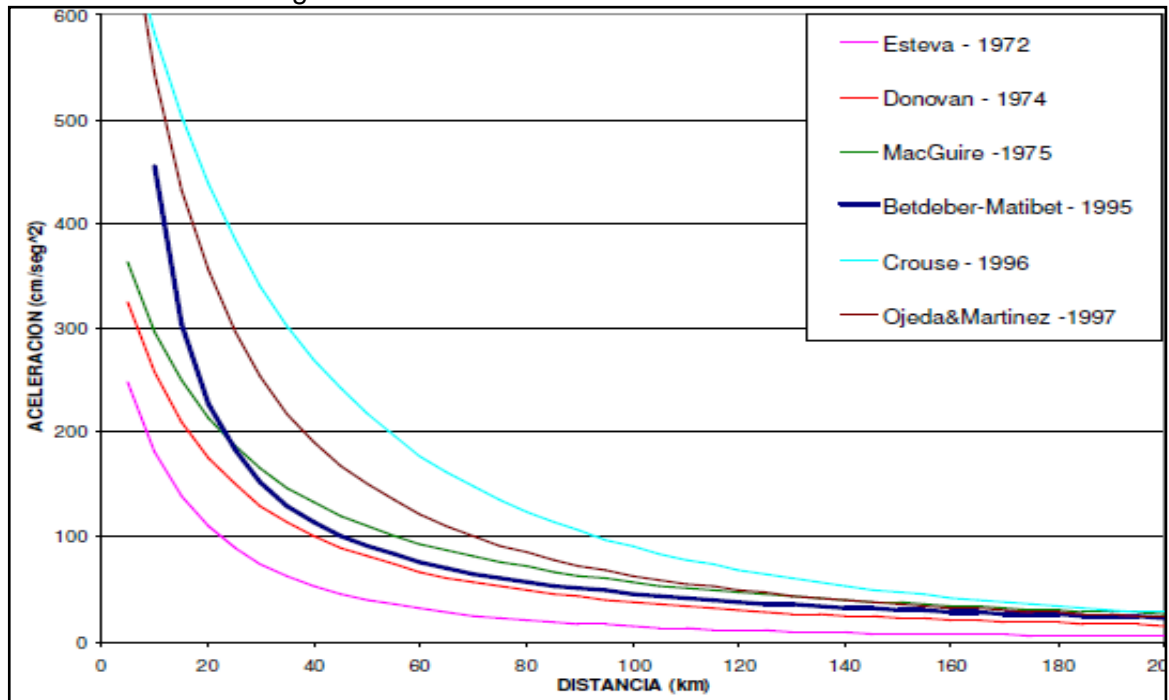
A= Aceleración (m/s²)

Mw=Magnitud momento, R=Distancia

- Donovan, N.C. 1973⁸³ $a = 1320e^{0.58m(R+25)-1.52}$ Ec No. 47

- Mac Guire, R.K. 1974⁸⁴ $a = 472.3e^{0.64m(R+25)-1.301}$ Ec No. 48

Figura 13. Atenuación de la Aceleración Ms = 6.5



Fuente: SARRIA, A. (1995). "INGENIERIA SÍSMICA". Ediciones Uniandes. Bogotá.

11.3 ECUACIONES DE LONGITUD DE RUPTURA

Ecuaciones de Ruptura Fuentes Tipo 3

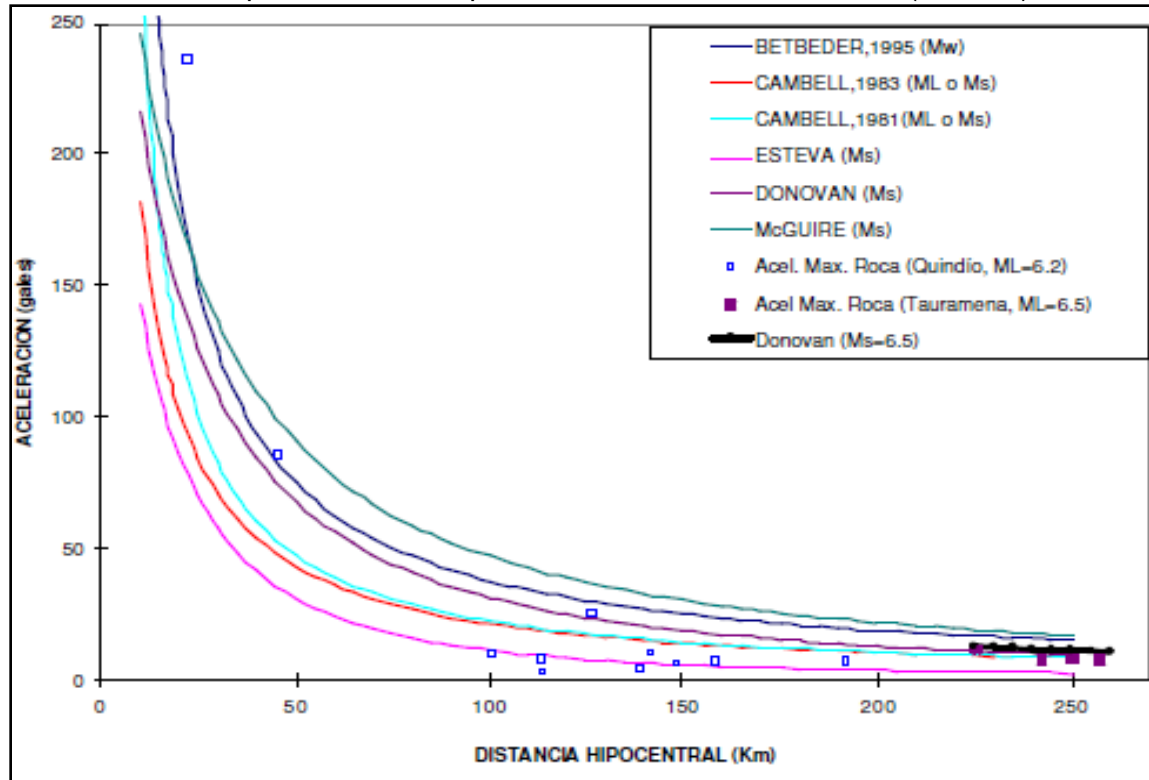
Los sismos más importantes son de origen tectónico o de movimiento de placas continentales, mediante un proceso de deriva de dichas placas; estos sismos son causados por la liberación de energía de deformación acumulada, esta liberación

⁸³ INGEOMINAS-AIS. (1998) "Estudio general de Amenaza Sísmica de Colombia". Comité AIS 300 - Amenaza-Sísmica. Publicación Especial de Ingeominas.

⁸⁴ Ibíd.,

se manifiesta en una ruptura de la falla geológica y la totalidad de la energía del sismo se libera afectando una zona de ruptura dentro de la falla.

Figura 14. Comparación de Leyes de Atenuación y Aceleraciones Máximas Registradas en Roca para el Sismo Superficial del 25 de Enero de 1999 (Quindío)



Fuente: SARRIA, A. (1995). "INGENIERÍA SÍSMICA". Ediciones Uniandes. Bogotá.

Esta ruptura depende del tipo de falla y de otras características geológicas y sismológicas; varios autores han propuesto una ecuación de ruptura de la forma:

Ec. No. 49: $s = e^{(a-bm)}$

Para el presente estudio se usó la ecuación de mejor ajuste de Ambrasseys solo para fuentes tipo 3, por corresponder a sismos No Asignados a fuentes conocidas⁸⁵:

Ec. No. 50: $s = e^{1.596 - 7.56m}$

El sismo se origina en el foco y se propaga simétricamente a lado y lado la cantidad $s/2$ de la ecuación (8), m es la magnitud Ms.

⁸⁵ ARISTIZABAL, R.D., et. al., 1.993. "Macrosísmica del Departamento del Quindío." Proyecto de Grado (Ingeniería Civil). Universidad del Quindío.

Ecuaciones De Ruptura Fuentes Superficiales Cercanas

Por medio de estudios de sismicidad histórica, en la región han sido identificados cerca de 30 sismos superficiales⁸⁶, los cuales en su mayor parte, seguramente corresponden a magnitudes entre 2.0 y 3.5. Este rango explicaría de un lado, que al menos sean percibidos localmente y del otro su rápida atenuación.

En el estudio de Guzmán⁸⁷ se contempla el cálculo de las magnitudes máximas probables para las fallas del sector de los departamentos de Quindío, Risaralda y Caldas. Como resultado de dicho estudio, se encontró que el rango predominante de magnitudes máximas probables se localizaba entre 6.0 y 6.6, considerándose ecuaciones con referencia a magnitud momento, Mw.

También de acuerdo al mapa de fallas activas de Colombia se establecieron magnitudes máximas probables para los diferentes sistemas de fallamiento superficiales que podrían afectar las edificaciones de la zona en estudio.⁸⁸ Adicionalmente, se indican algunos fallamientos donde las magnitudes pueden superar este rango, con un tope dentro de los segmentos estudiados de Mw=6.9

Figura 15 Ecuaciones de regresión para determinar magnitudes máximas probables a partir de estimaciones de longitud de ruptura superficial (**LRS**), para fuentes sísmicas superficiales, modificadas para la forma general.⁸⁹

Ec. No. 51: $L = e^{aM_s - b}$

Figura 15. Ecuaciones de Regresión para Determinar Magnitudes Máximas Probables a partir de Estimaciones de Longitud de Ruptura Superficial

Ecuación	Falla	Coeficientes		Desv. Estándar	r
		a	B		
$L = e^{aM_s - b}$	Rumbo	1.704	8.174	0.27	0.86
	Inversa	1.451	6.585	0.39	0.38
	Normal	1.151	4.628	0.20	0.73

Fuente: WELLS, D.L. y COPPERSMITH, K.J.(1994).

⁸⁶ ESPINOSA, A. (En preparación). "Sismicidad histórica del Quindío". Universidad del Quindío, Armenia.

⁸⁷ GUZMAN, J. FRANCO, G. PARIS G., TABOADA A.(1997). "Evaluación Neotectónica para el Proyecto para la Mitigación del riesgo Sísmico de Pereira, Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal". Carder. Pereira

⁸⁸ PARIS, G.(2002). "Mapa de Fallas Activas de Colombia". Proyecto del Servicio Geológico de Estados Unidos USGS y Gabriel Paris Q.,

⁸⁹ WELLS, D.L. y COPPERSMITH, K.J.(1994). "New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Area and Surface Displacement. Bull". Seism. Soc. Am., vol 84, No. 4, pp 974-1002.

Para recalcular la Magnitud M_s a partir de Magnitudes M_w , se utilizaron las ecuaciones de Geller, 1976, así:

Ec. No. 52: $\text{Log}M_o = M_s + 18.89$ Para $M_s < 6.76$

Ec. No. 53: $\text{Log}M_o = 1.5M_s + 15.51$ Para $6.76 < M_s < 8.12$

Ec. No. 54: $\text{Log}M_o = 3.0M_s + 3.33$ Para $8.12 < M_s < 8.22$

Ec. No. 55: $M_s = 8.22$ Para $\text{Log}M_o > 28$

Usando la ecuación Kanamori ($\text{Log} M_o = 1.5M_s + 16.1$), se obtuvieron las siguientes conversiones para M_s en función de M_w .

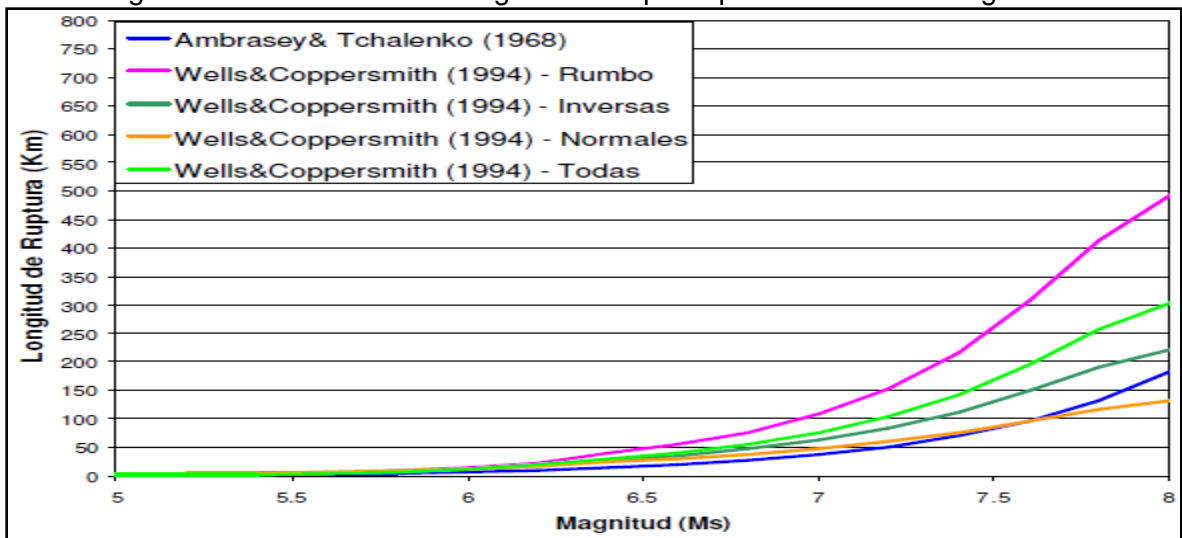
Ec. No. 56: $M_s = 1.5M_w - 2.79$ Para $M_w < 6.4$

Ec. No. 57: $M_s = M_w + 0.39$ $6.4 < M_w < 7.73$

Ec. No. 58: $M_s = 0.5M_w + 4.26$ Para $7.73 < M_w < 7.93$

Utilizando las expresiones anteriores se ajustaron las ecuaciones de Wells & Coppersmith⁹⁰ de acuerdo a la homogeneización del catálogo de la RSNC. En la Figura 16 se muestra el comportamiento de las diferentes ecuaciones de longitud de ruptura utilizadas en este estudio, allí se aprecia claramente la gran variabilidad de este parámetro de acuerdo al tipo de falla.

Figura 16. Ecuaciones de Longitud de Ruptura para Fuentes Sismogénicas

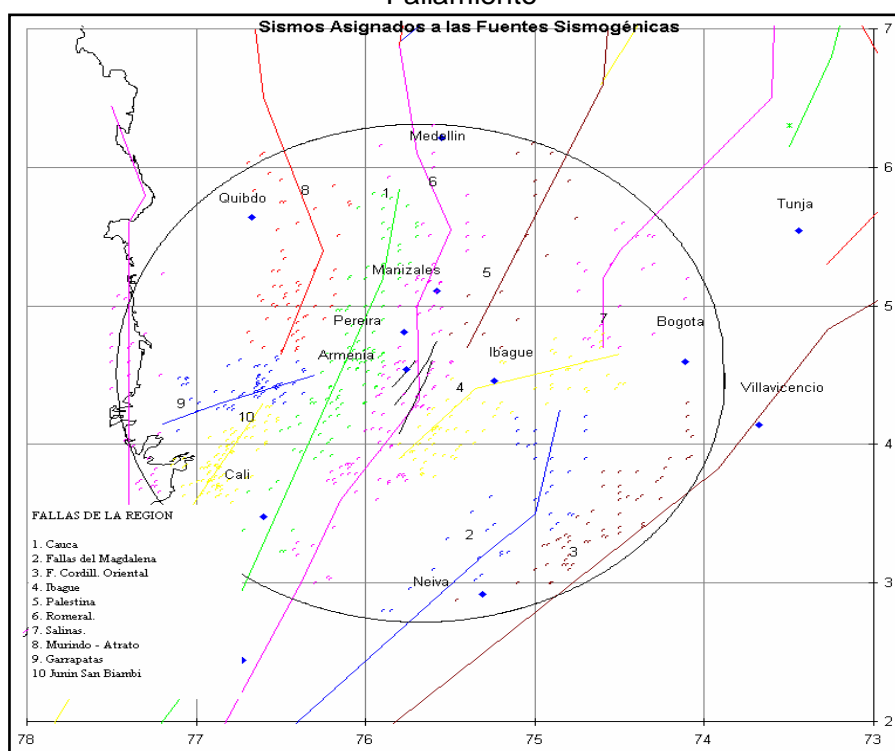


Fuente: WELLS, D.L. y COPPERSMITH, K.J.(1994).

⁹⁰ WELLS, D.L. y COPPERSMITH, K.J.(1994). "New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Area and Surface Displacement. Bull". Seism. Soc. Am., vol 84, No. 4, pp 974-1002

11.3.1 Evaluación De La Amenaza Sísmica. Una vez establecido el catálogo de sismos, la geometría de las fuentes superficiales y profundas, las ecuaciones de atenuación y longitud de rupturas utilizables de acuerdo al tipo de falla, se procedió a realizar la asignación de los sismos del catálogo a las diferentes fuentes sismogénicas que podrían tener influencia en la zona en estudio. Para realizar esta asignación de eventos se utilizó un algoritmo nuevo y mejorado denominado ASPEAS desarrollado en el Observatorio Sismológico del Quindío de la Universidad del Quindío.⁹¹ Con los resultados de la asignación se calcularon las tasas de recurrencia y las magnitudes máximas esperables con datos instrumentales, las cuales fueron comparadas con los datos de los estudios de Geotectónica, disponibles para determinar las magnitudes máximas esperables por fuente.⁹² Posteriormente se procedió a calcular las aceleraciones máximas esperables mediante el modelo de Línea Fuente⁹³ utilizando para ello el programa SIS desarrollado en la Universidad del Quindío, que se observa en la Figura 17 se presenta una gráfica con la representación esquemática de los sismos asignados a cada una de las fallas.

Figura 17. Representación de los Sismos Asignados a los Diferentes Sistemas de Fallamiento



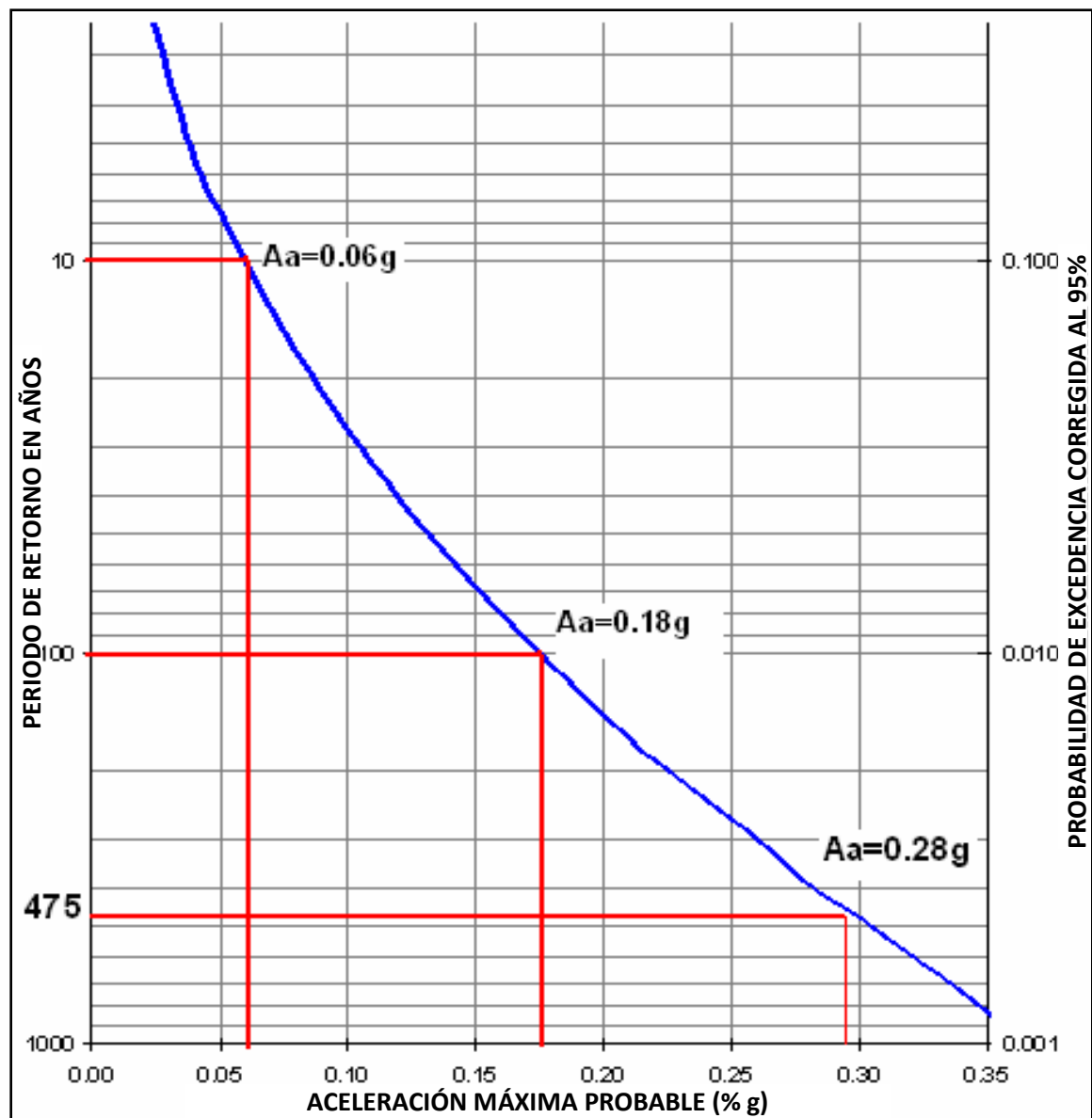
Fuente: UNIVERSIDAD DEL QUINDIO, CRQ, INGEOMINAS. (1999)

⁹¹ GALVAN M., (2002). Nuevo Algoritmo para la Asignación de Sismos en los Estudios de Amenaza Sísmica ASPEAS., Observatorio Sismológico del Quindío, Universidad del Quindío.

⁹² PARIS, G.(2002). "Mapa de Fallas Activas de Colombia". Proyecto del Servicio Geológico de Estados Unidos USGS y Gabriel Paris Q.,

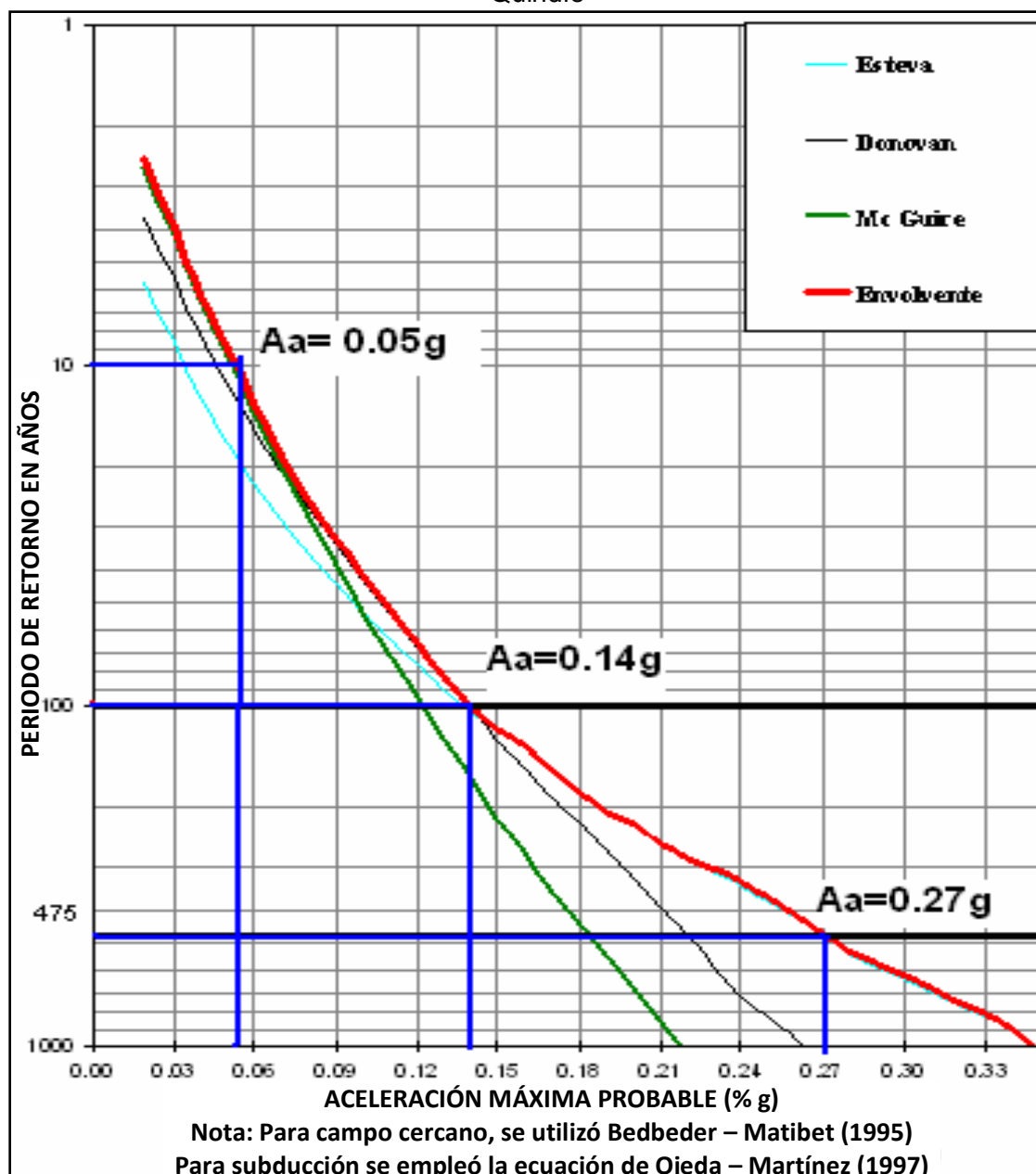
⁹³ DER KIUREGHIAN, A. and ANG, H-S, A., (1.975). "A line source model for seismic risk analysis". Illinois University.

Figura 18. Amenaza Sísmica Para El Proyecto: “EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO PARA EL CENTRO DE ARMENIA”. Aceleración Máxima Esperada Vs. Probabilidad de Excedencia



Fuente: UNIVERSIDAD DEL QUINDIO, CRQ, INGEOMINAS. (1999)

Figura 19. Aceleración Local Horizontal Máxima Probable en Roca Para Armenia - Quindío



Fuente: UNIVERSIDAD DEL QUINDIO, CRQ, INGEOMINAS. (1999)

En la Figura 18 se muestra la curva de probabilidades después de realizados los cálculos con el modelo de Línea Fuente, en ella se puede apreciar que para una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años como lo especifica la NSR-98 (lo que equivale a un período de retorno de 475 años), se tendría una aceleración máxima probable en zona de estudio de 0.28 g lo que equivale al 28% del valor de la aceleración de la gravedad o sea 280 gales. Con la Interpolación en la Figura 18

obtenemos que la aceleración máxima para un sismo con periodo de retorno de 10 años es de 60 gales y para un periodo de retorno de 100 años la aceleración máxima esperada es de 0.18 g. Estos valores concuerdan satisfactoriamente con los valores encontrados en estudios anteriores (Figura 19) y desde el punto de vista de diseño sísmico no varía sustancialmente las especificaciones contenidas en la NSR-98 aplicables para el sitio.⁹⁴

11.3.2 Sismos Característicos Acordes A La Amenaza Del Sitio. La respuesta sísmica del subsuelo en un sitio determinado depende de varios factores como la cantidad de energía que le impone el sismo, el contenido frecuencial de la señal, la duración del mismo etc. Como es sabido todos estos factores varían de un sismo a otro y son dependientes de otros como la magnitud, momento sísmico, distancia hipocentral, tipo de fuente etc. Las principales fuentes sísmicas que aportan a la amenaza sísmica para los sitios de análisis de acuerdo a lo determinado son:

➤ **Campo Cercano**

Algunas de las fallas corticales locales que han demostrado actividad reciente en el cuaternario se podrían ubicar en este grupo; tales fallas en general pertenecen al sistema de Romeral y las más destacadas son la Falla Quebradablanca, Otún, Salento, Mistrato, Falla Silvia-Pijao, la Falla Armenia-Circasia, la Falla de Cócora. Este tipo de falla representa una amenaza potencial muy seria para las estructuras, pero cabe aclarar que es casi independiente del sitio de análisis dentro de la ciudad debido principalmente a la cercanía de dichas fuentes.

➤ **Campo Intermedio- Lejano**

En esta clasificación podrían agruparse fuentes superficiales como los sistemas de Cauca-Romeral, Atrato, Fallas del Magdalena, el sistema Ibagué-Cucuna, la Falla Frontal de la Cordillera Oriental, el sistema Palestina etc. y fuentes profundas como el sistema de subducción y Benioff.

SISMOS UTILIZADOS EN LA MODELACION

Sería ideal poder contar con una gran cantidad de registros acelerográficos que pudieran representar las diferentes características de las señales que eventualmente podrían excitar los suelos del sitio estudiado, lamentablemente esto no es posible debido al corto tiempo de operación de las redes acelerográficas locales y nacionales.

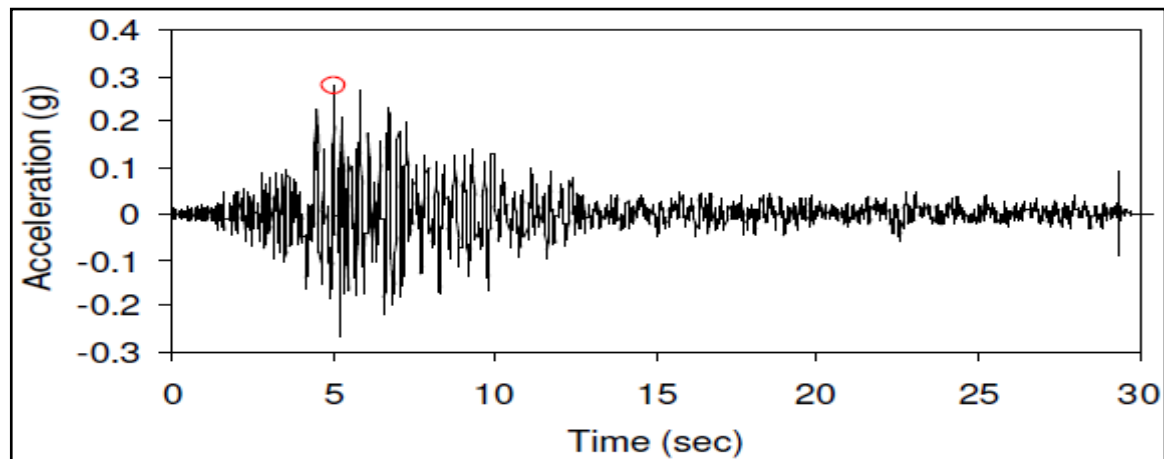
⁹⁴ UNIVERSIDAD DEL QUINDIO, CRQ, INGEOMINAS. (1999). "Estudio de la Amenaza Sísmica del Eje Cafetero". Armenia

Además del valor de aceleraciones esperadas, para la modelación de escenarios de riesgo es necesario contar con los contenidos frecuenciales del sismo, para esto se escogieron señales que fueran acordes con el estudio de amenaza pero además que guardaran la relación magnitud distancia de la fuente que los pudiera producir.

SISMO DE CAMPO CERCANO

Para modelar la respuesta sísmica del suelo ante las altísimas solicitaciones sísmicas a que eventualmente se vería sometido en el caso de presentarse un sismo cercano se utilizó el registro acelerográfico del sismo del 25 de Enero de 1999 cuya $M_l=6.2$, registrado en la estación de la Universidad del Quindío, al cual se le realizó una deconvolución, para obtener la señal que posiblemente llegó al basamento rocoso y después por medio de Funciones Empíricas de Green⁹⁵ se escaló a la aceleración esperada para un sismo fuerte de acuerdo al estudio de amenaza de 0.28 g.

Figura 20. Acelerograma Sismo Armenia Enero 25 de 1999 Escalado a 0.28g Por Medio de EGF



Fuente: ORDAZ, M., ARBOLEDA, J., SINGH, S. (1995).

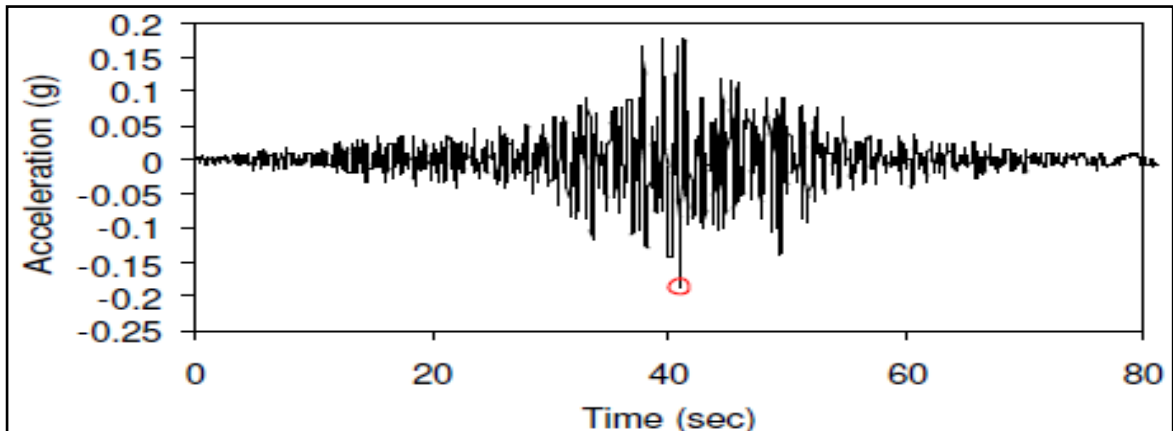
SISMO DE CAMPO INTERMEDIO

Para modelar la respuesta sísmica del suelo ante las solicitaciones sísmicas a que eventualmente se vería sometido en el caso de presentarse un sismo Intermedio, se utilizó el registro acelerográfico del sismo del Salvador de enero del 2001 registrado en la estación presa con una distancia epicentral de 63.1 Km, $M_l=7.6$ y Aceleración horizontal máxima en roca de 0.18 g. Este registro es adecuado para

⁹⁵ ORDAZ, M., ARBOLEDA, J., SINGH, S. (1995). "A Scheme of Random Summation of an Empirical Green's Function to Estimate Ground Motions from Future Large Earthquakes". Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 85, No 6.

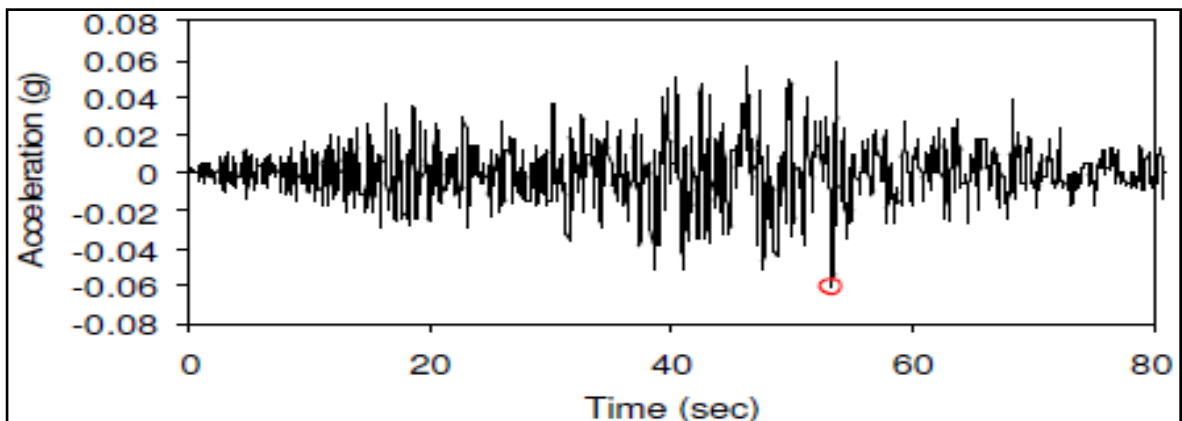
modelar el escenario que podría generar un sismo localizado en la zona de Benniof con profundidades entre 80 y 150 Km. Para modelar el escenario que podría generar un sismo leve de campo intermedio se utilizó el registro acelerográfico del sismo del Salvador de Enero del 2001 registrado en la estación Sesuntepeque con distancia epicentral de 90.5 Km, $M_l=7.6$ y aceleración horizontal máxima en roca de 0.05g.

Figura 21. Acelerograma sismo del Salvador con Aceleración de 0.18g



Fuente: ORDAZ, M., ARBOLEDA, J., SINGH, S. (1995).

Figura 22 Acelerograma del sismo del salvador con Aceleración de 0.05g



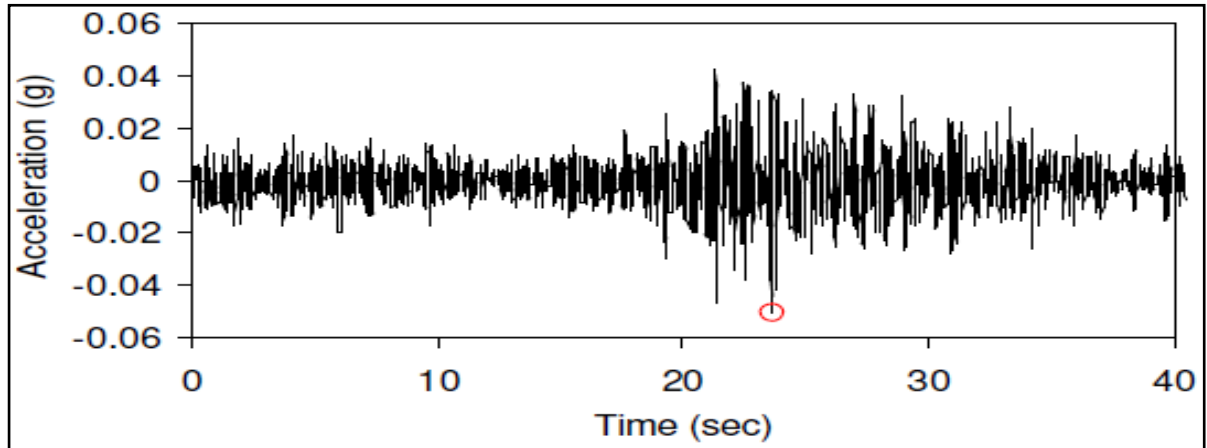
Fuente: ORDAZ, M., ARBOLEDA, J., SINGH, S. (1995).

SISMO DE CAMPO LEJANO

Para modelar la respuesta sísmica del suelo ante las solicitaciones sísmicas a que eventualmente se vería sometido en el caso de presentarse un sismo Lejano se utilizó el registro acelerografico del sismo del 2 septiembre de 1997, Sismo catalogado como movimiento fuerte, la fuente asociada a este sismo es la de subducción este evento se le reportó una magnitud de 6.3. Y una distancia hipocentral de 125 Km. Se obtuvo una señal en roca en la estación de Calarca

cuya aceleración máxima registrada fue de 0.017g, la cual fue escalada a una aceleración de 0.05g (Figura 23) a partir de funciones Empíricas de Green para simular el escenario que podría generar un sismo leve de campo lejano.⁹⁶

Figura 23. Acelerograma del Sismo de Sep. 2 de 1997 Escalado a 0.05g mediante EGF



Fuente: ORDAZ, M., ARBOLEDA, J., SINGH, S. (1995).

11.4 INVENTARIO Y CLASIFICACION DE ESTRUCTURAS

El inventario de las edificaciones de la zona de estudio se realizó predio a predio, considerando las variables que originalmente el programa PERCAL 6 tenía en cuenta (número de pisos, estrato socioeconómico, uso, cubierta, año de construcción y tipo de estructura) y adicionando calidad de construcción y configuración estructural a las variables que el programa PERCAL MILLENIUM utiliza para el cálculo de la vulnerabilidad de las edificaciones.⁹⁷

Las Variables y categorías listadas en la Tabla 8.3 fueron empleadas para la Modelación en el programa PERCAL MILLENIUM.

⁹⁶ ORDAZ, M., ARBOLEDA, J., SINGH, S. (1995)

⁹⁷ JARAMILLO, J.D. (1997).

Tabla 12. Variables Utilizadas para la Caracterización de las Estructuras

NUMERO	VARIABLE	PARAMETRO
1	Número de Pisos	Corresponde al número de pisos de cada edificación.
2	Tipo Estructural	Bahareque
		Mampostería Simple
		Mampostería Confinada
		Mampostería reforzada
		Pórtico de Concreto
3	Uso	Residencial
		Comercial
		Industrial
		Educacional
4	Cubierta	Liviana
		Teja de Barro
		Placa de Concreto
		Antes de 1929
5	Periodo de Construcción	1930 – 1959
		1960 – 1984
		1985 – 1997
		Después de 1998
6	Estrato Socioeconómico	Bajo – Bajo
		Bajo
		Medio – Bajo
		Medio
		Medio – Alto
		Alto
7	Calidad de Construcción	Buena
		Regular
		Mala
8	Configuración Estructural	Buena
		Regular
		Mala

Fuente: ALCALDÍA DE ARMENIA - QUINDIO

Tabla 13. Distribución del Número de Edificaciones Inventariadas según las Variables Enunciadas Anteriormente.

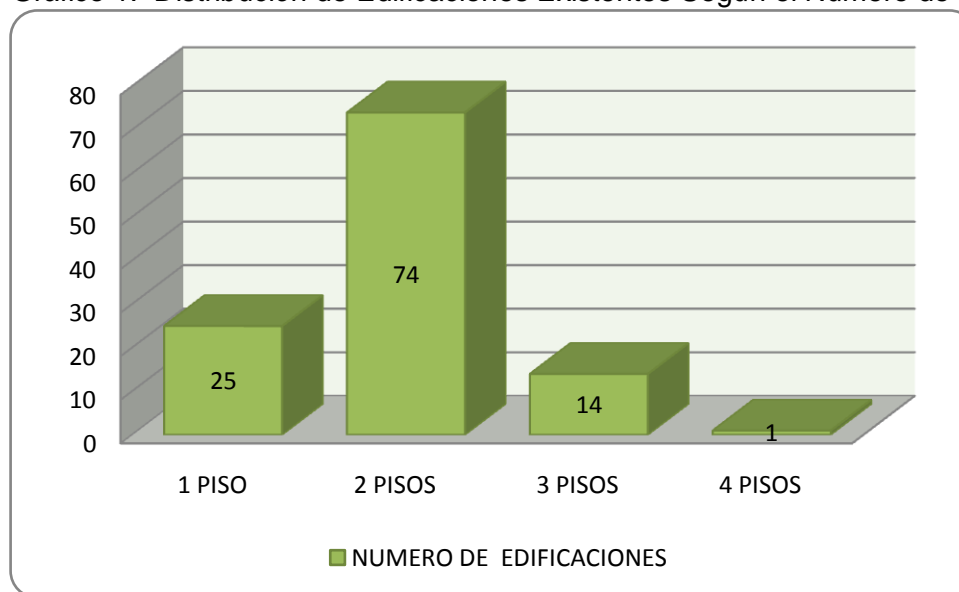
# DE EDIFICACIONES POR VARIABLE		
VARIABLE	# DE EDIFICACIONES	% EDIFICACIONES
# DE PISOS		
1 PISO	25	22%
2 PISOS	74	65%
3 PISOS	14	12%
4 PISOS	1	1%
TOTAL	114	100%
TIPO DE ESTRUCTURA		
MAMPOSTERIA CONFINADA	1	1%
MAMPOSTERIA SIMPLE	33	29%
MAMPOSTERIA REFORZADA	24	21%
PORTICO DE CONCRETO	56	49%
TOTAL	114	100%
USO		
RESIDENCIAL	114	100%
TOTAL	114	100%
TIPO DE CUBIERTA		
LIVIANA	82	72%
PLACA DE CONCRETO	32	28%
TOTAL	114	100%
PERIODO DE CONSTRUCCION		
DESPUES DE 1998	114	100%
TOTAL	114	100%
ESTRATO SOCIO ECONOMICO		
BAJO	114	100%
TOTAL	114	100%
CALIDAD DE CONSTRUCCION		
BUENA	98	86%
REGULAR	16	14%
MALA	0	0%
TOTAL	114	100%

Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Número de Pisos:

Para esta Variable se tiene en cuenta la totalidad de niveles que tiene cada edificación contados a partir del nivel de la calle. En el Gráfico 1 se muestra la distribución de edificaciones según el número de pisos para el sector en estudio.

Gráfico 1. Distribución de Edificaciones Existentes Según el Número de Pisos



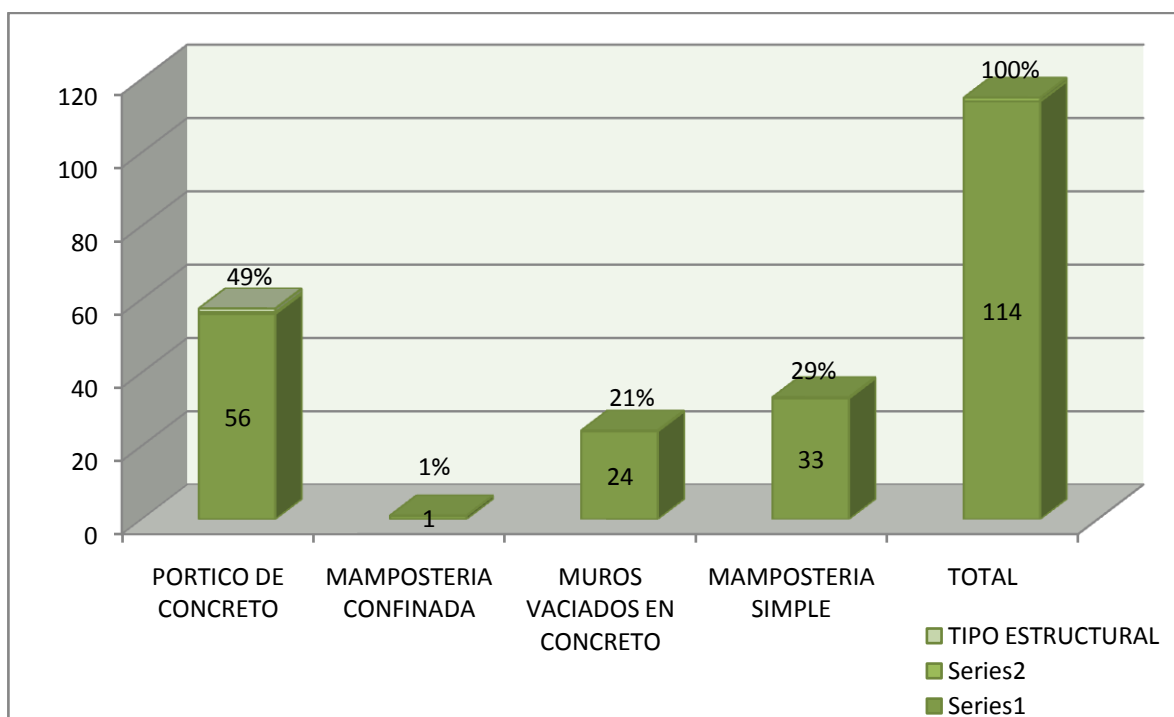
Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Tipo Estructural:

- **Mampostería Simple:** Es la construcción con base en bloques de ladrillo cocido unidos por medio de mortero que no cuentan con ningún refuerzo y no cumplen con norma respecto al confinamiento de sus elementos que trabajan estructuralmente.
- **Mampostería Confinada:** Este tipo de construcción se caracteriza por ser bloques de ladrillo cocido unidos por mortero, el refuerzo principal esta dado por un marco de concreto reforzado que cumple la función de confinar los bloques de ladrillo y actúa monolíticamente y cumple lo estipulado con el Título D-10 de la NSR-98.
- **Mampostería Reforzada:** Este tipo de construcción se caracteriza por estar conformado de piezas de mampostería de perforación vertical, unidas por medio de mortero, reforzada internamente con barras y alambres de acero y que cumple los requisitos del capítulo D.7 de la NSR-98.
- **Pórtico de Concreto:** Conjunto estructural constituido por vigas y columnas unidas entre sí por nudos que pueden ser, o no, capaces de transmitir momentos flectores de un elemento a otro.⁹⁸

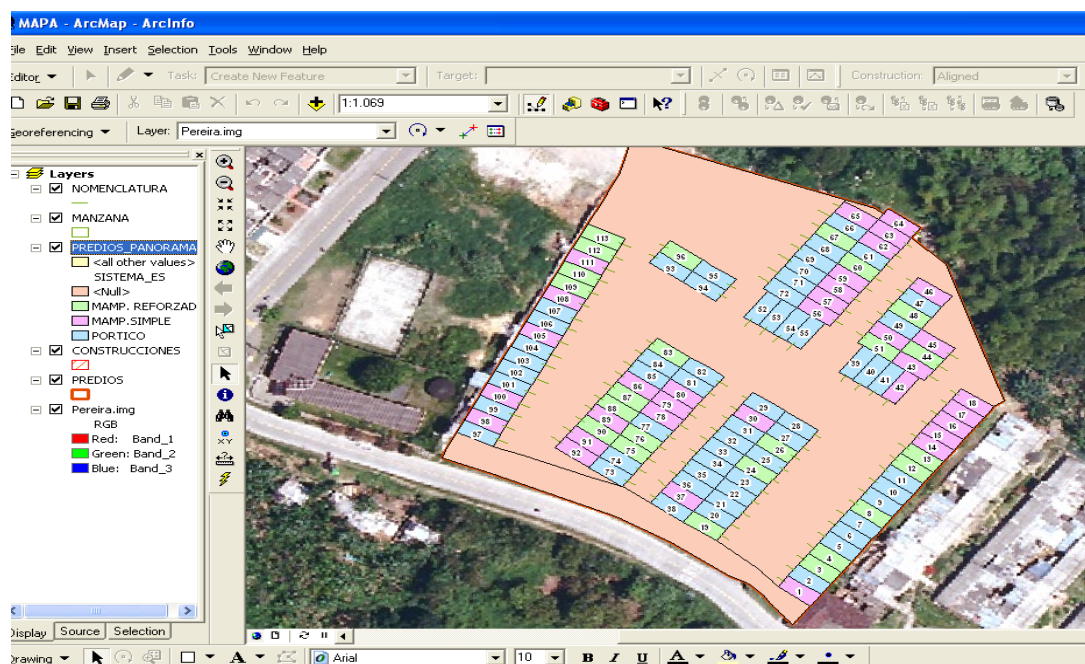
⁹⁸ AIS (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica). (1997). Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sísmica Resistente NSR-98. Ley 400 de 1997. Bogotá D.C.

Gráfico 2. Distribución de Edificaciones Existentes Según Tipología Estructural



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Figura 24. Figura. Distribución de Edificaciones Según Tipo Estructural



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

USO

Residencial: el uso de estas edificaciones está dirigido a la vivienda.

CUBIERTA

La importancia del tipo de cubierta radica en el comportamiento que puede tener la estructura cuando es sometida a cargas horizontales debido a la masa que esta le puede aportar, además el efecto de estas masas en las Cubiertas es más marcado en edificaciones de poca altura.⁹⁹

La clasificación del tipo de cubierta es:

Cubierta Liviana: En este tipo de cubierta predominan los materiales como el Asbesto cemento, lámina de zinc, telas asfálticas, plástico, materiales termo acústico.

Placa de Concreto: Este tipo de cubierta es construida en Concreto impermeabilizado y en muchos casos es utilizado como terraza de algunas edificaciones.

11.5 CALCULO DEL RIESGO SISMICO

11.5.1 Análisis De Pérdidas Producidas Por Un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales

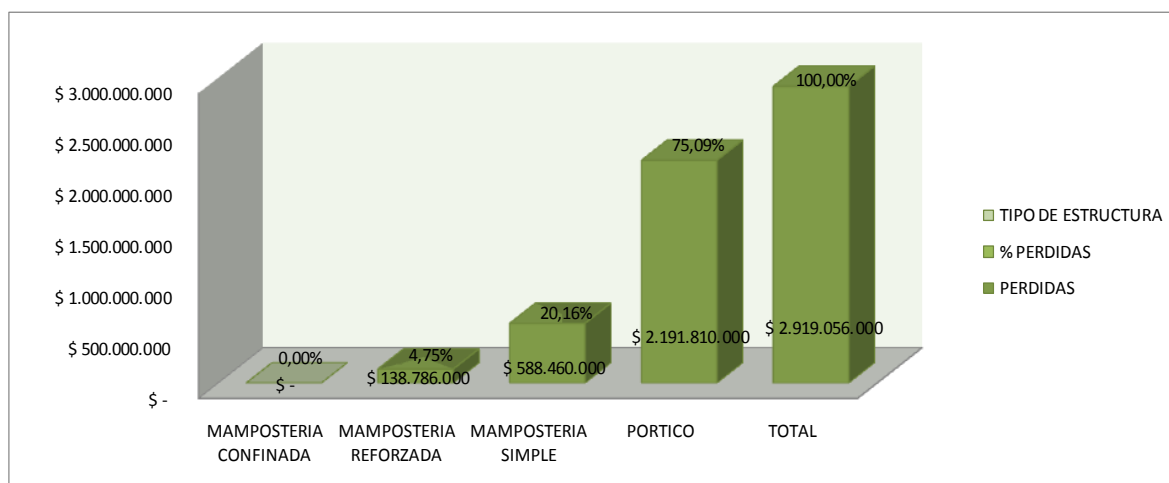
Tabla 14. Pérdidas Asociadas Al Tipo Estructural Producidas por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales

TIPO DE ESTRUCTURA	PÉRDIDAS	% PÉRDIDAS	PÉRDIDAS EN M2	% DE M2
MAMPOSTERIA CONFINADA	\$ 416.800	0.01%	26.04	0.46%
MAMPOSTERIA REFORZADA	\$138.786.000	4.75%	624.96	10.96%
MAMPOSTERIA SIMPLE	\$588.460.000	20.16%	1796.76	31.51%
PORTICO	\$2.191.810.000	75.08%	3255	57.08%
TOTAL	\$2.919.472.800	100.00%	5702.76	100.00%

Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

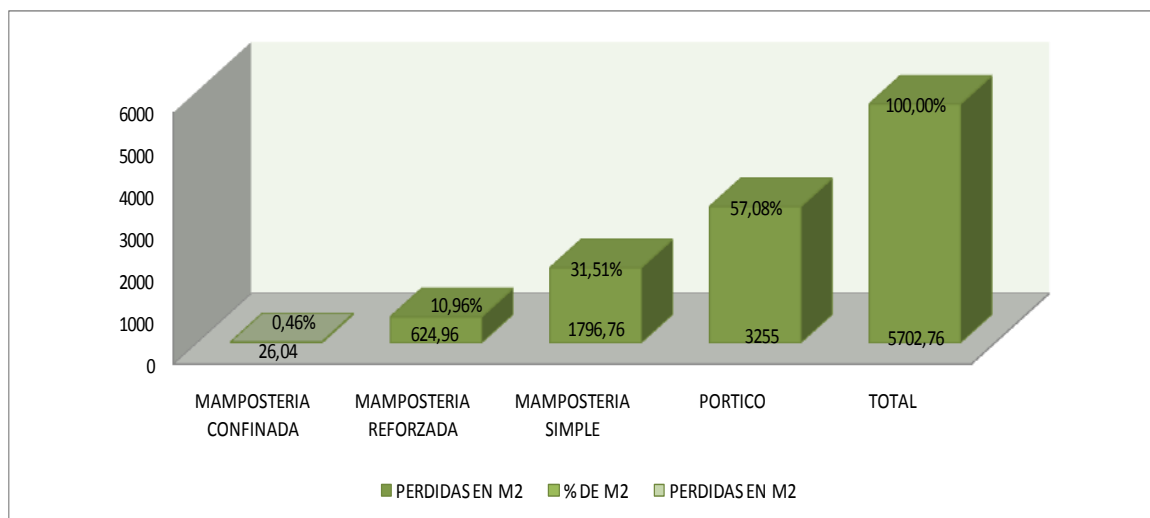
⁹⁹ CHAVARRIA, D.A., GOMEZ, D. (2001). "Estudio Piloto de Vulnerabilidad Sísmica en Viviendas de 1 y 2 Pisos del Barrio Cuarto de Legua en el Cono Cañaveralero". Trabajo de Grado (Ingeniería Civil). Escuela de Ingeniería Civil y Geomatica. Universidad del Valle. Santiago de Cali

Gráfico 3. Pérdidas Económicas por Tipo de Estructura Sismo Cercano con Aa: 280 Gales en Pesos



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 4. Pérdidas por Tipo de Estructura Sismo Cercano con Aa: 280 Gales en M²



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

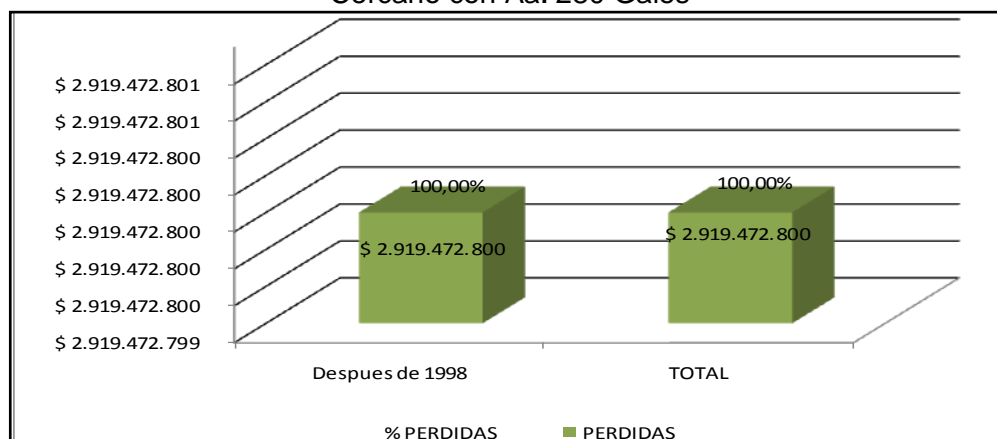
Analizando la gráfica de pérdidas por tipo de estructura tenemos: El sistema de Pórticos de concreto tiene mayor presencia en el sector y es el que más pérdidas en cuanto dinero y a m² perdidos representa, la gráfica nos muestra que la perdida de los pórticos asciende a un costo de \$ 2.191.810.000, representando el 75% de las pérdidas del sector, y las pérdidas en m² ascienden a 3255 m² el cual corresponde al 57.08% de las pérdidas en m² que tienen en el sector. Como también es importante concluir que las estructuras en mampostería simple cuentan con una menor área en m2 con respecto al sistema de pórtico, pero que en proporción en cuanto a la afectación en perdida es mayor. Como lo podemos observar en la gráfica No. 4.

Tabla 15. Pérdidas Asociadas Al Periodo De Construcción por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales

TIPO DE ESTRUCTURA	PÉRDIDAS	% PÉRDIDAS	PÉRDIDAS EN M2	% DE M2
Después de 1998	\$ 2.919.472.800	100.00%	100.00%	100.00%
TOTAL	\$ 2.919.472.800	100.00%	100.00%	100.00%

Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 5. Pérdidas Asociadas al Periodo de Construcción en Pesos por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

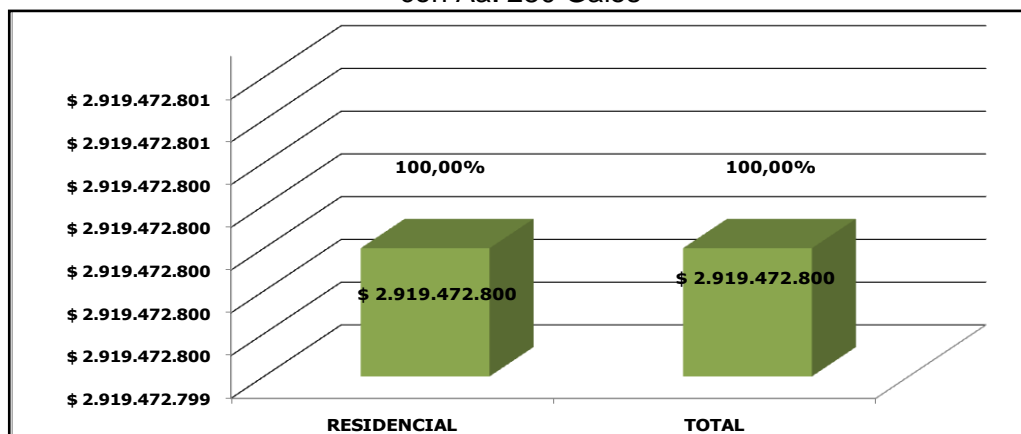
La totalidad de las pérdidas asociadas al periodo de construcción se dan después de 1988.

Tabla 16. Pérdidas Asociadas Al Uso De La Construcción por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales

USO	PÉRDIDAS	% PÉRDIDAS	PÉRDIDAS EN M2	% DE M2
RESIDENCIAL	\$ 2.919.472.800	100.00%	100.00%	100.00%
TOTAL	\$ 2.919.472.800	100.00%	100.00%	100.00%

Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 6. Pérdidas Asociadas al Uso de la Construcción en Pesos por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

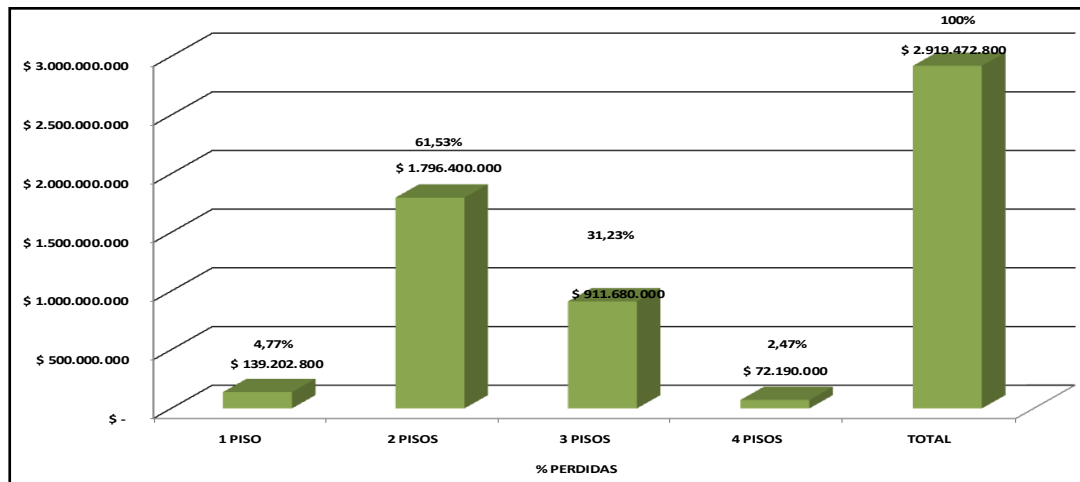
La totalidad de las pérdidas asociadas al USO de la construcción corresponde a Residencial.

Tabla 17. Pérdidas Asociadas Al Número De Pisos por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales

# PISOS	PÉRDIDAS	% PÉRDIDAS	PÉRDIDAS EN M2	% DE M2
1 PISO	\$ 139.202.800	4.77%	651	11.42%
2 PISOS	\$ 1.796.400.000	61.53%	3854	67.58%
3 PISOS	\$ 911.680.000	31.23%	1093.68	19.18%
4 PISOS	\$ 72.190.000	2.47%	104.16	1.83%
TOTAL	\$ 2.919.472.800	100%	5702.76	100%

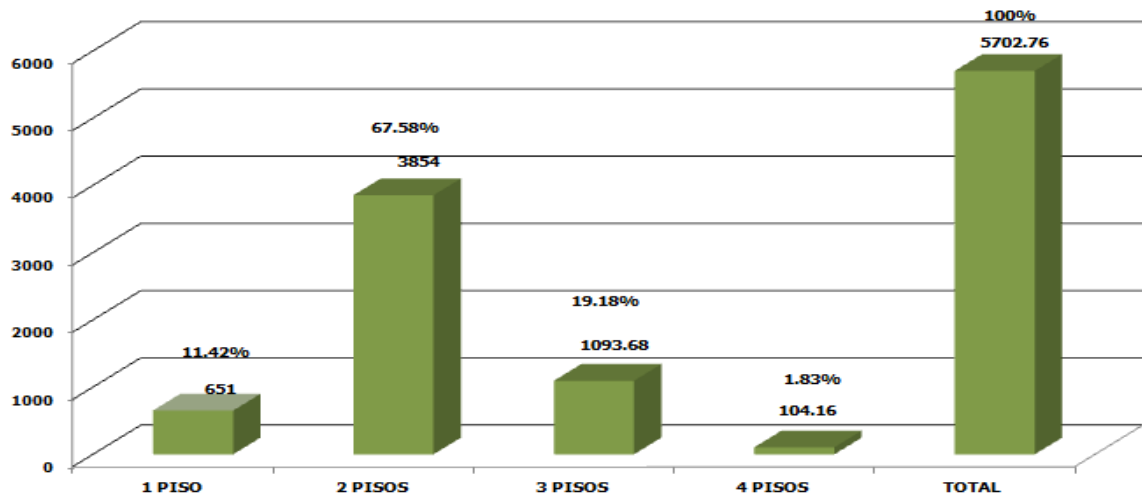
Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 7. Pérdidas por Número de Pisos Sismo Cercano en Pesos por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 8. Pérdidas por Número de Pisos Sismo Cercano en M² por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

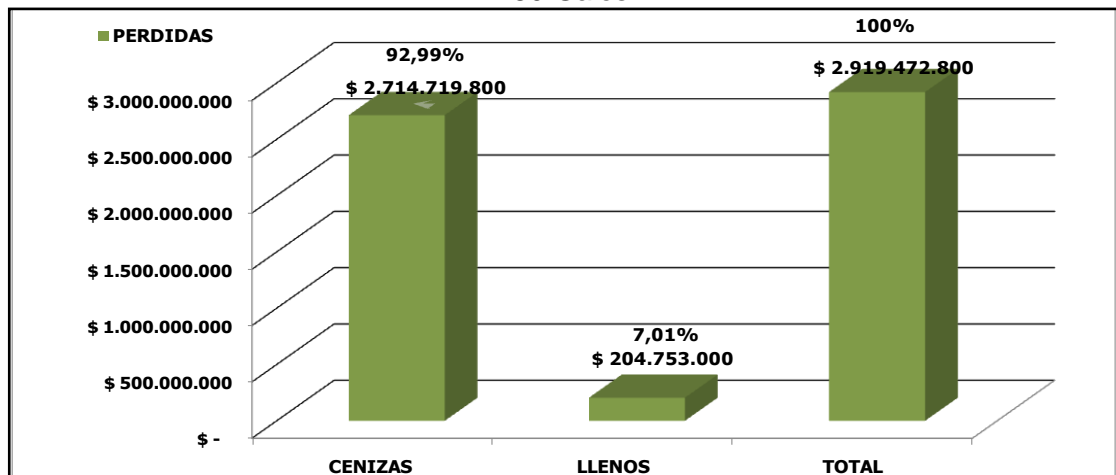
Como se puede ver en las gráficas, las edificaciones más afectadas en cuanto al valor de las pérdidas económicas y de m² según el número de pisos son las construcciones de 2 pisos, que representan un 67.58% del total de las edificaciones del sector, probablemente debido al contenido frecuencial del sismo ya que corresponde a uno de campo cercano. Las pérdidas ascienden a un total de \$1.796.400.000 que representan el 61.53% de las pérdidas del sector y a 3854 m² que representan el 67.58% de las pérdidas totales por m².

Tabla 18. Pérdidas Asociadas Al Tipo De Suelo por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales

PÉRDIDAS	% PÉRDIDAS	TIPOS DE SUELOS	PÉRDIDAS EN M2
\$ 2.714.719.800	92.99%	CENIZAS	5364.24
\$ 204.753.000	7.01%	LLENOS	338.52
\$ 2.919.472.800	100%	TOTAL	5702.76

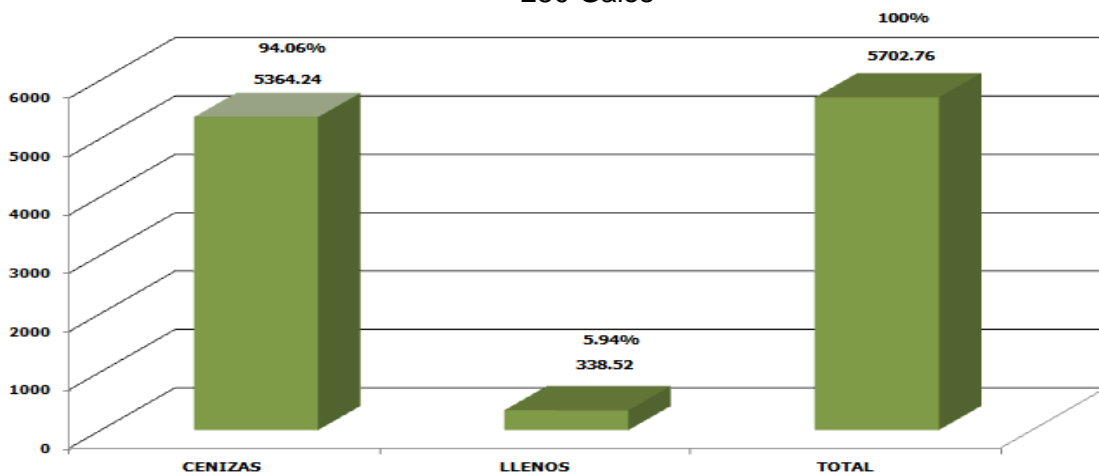
Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 9. Pérdidas Asociadas Al Tipo de Suelo en Pesos por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 10. Pérdidas Asociadas Al Tipo de Suelo en M² por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

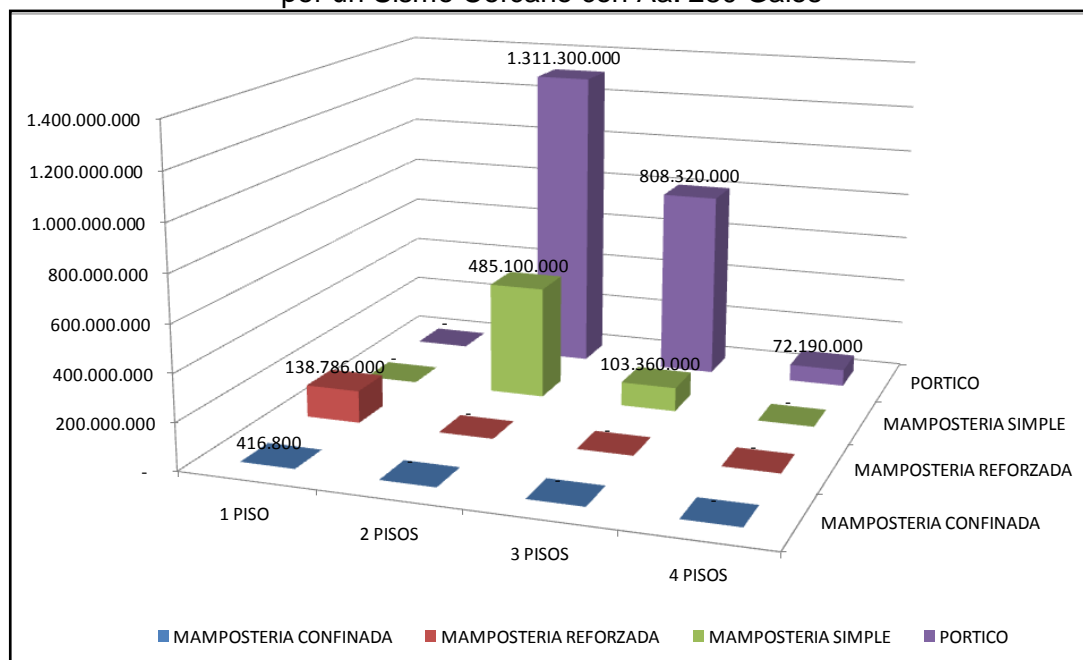
Observamos que el tipo de suelo en el que se presentan las mayores pérdidas es en el de cenizas 1 con un total de pérdidas económicas de \$ 2.714.719.000 que representan el 92.99% del total y de 5364 m² que representan el 94.06% de las pérdidas totales en m². También se observa el tipo de suelos llenos aunque es un área menor su proporción en pérdidas es mayor debido principalmente a su gran capacidad de amplificar las ondas sísmicas, dando como resultado un mayor nivel de daño en las estructuras.

Tabla 19. Correlación De Pérdidas Según Número De Pisos y Tipo Estructural por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales

NUMERO DE PISOS	1 PISO	2 PISOS	3 PISOS	4 PISOS	SUBTOTALES
MAMPOSTERIA CONFINADA	416.800.00	-	-	-	\$ 416.800.00
MAMPOSTERIA REFORZADA	138.786.000.00	-	-	-	\$ 138.786.000.00
MAMPOSTERIA SIMPLE	-	485.100.000.00	103.360.000.00	-	\$ 588.460.000.00
PORTICO	-	1.311.300.000.00	808.320.000.00	72.190.000.00	\$ 2.191.810.000.00
TOTAL					\$ 2.919.472.800.00
CORELACION ENTRE TIPO ESTRUCTURAL Y NUMERO DE PISOS EN M2	1 PISO	2 PISOS	3 PISOS	4 PISOS	SUBTOTALES
MAMPOSTERIA CONFINADA	26.04	0	0	0	26.04
MAMPOSTERIA REFORZADA	624.96	0	0	0	624.96
MAMPOSTERIA SIMPLE	0	1562.4	234.36	0	1796.76
PORTICO	0	2291.52	859.32	104.16	3255
TOTAL					5702.76

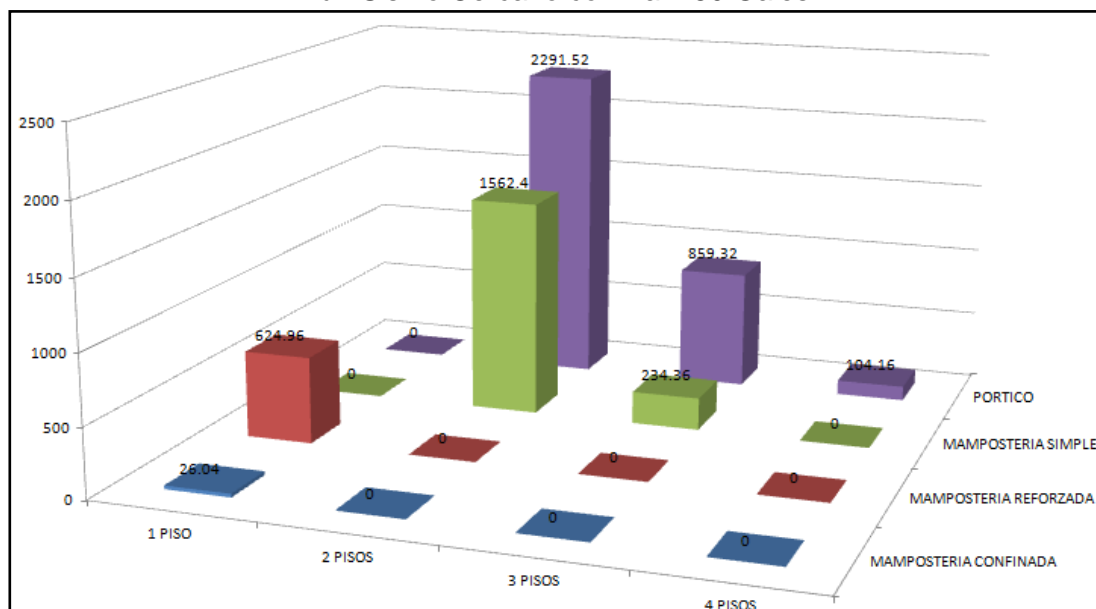
Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 11. Correlación De Pérdidas Según Número De Pisos y Tipo Estructural En Pesos por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 12. Correlación De Pérdidas Según Número De Pisos y Tipo Estructural En M² por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

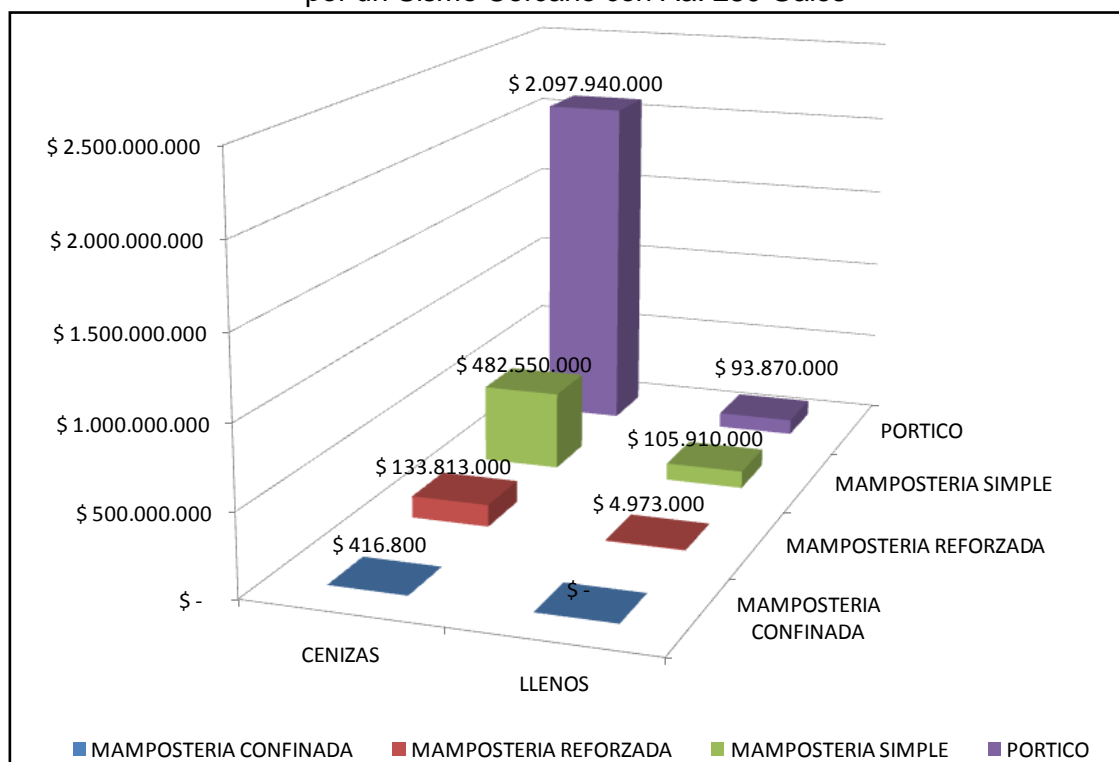
Se observa que las mayores pérdidas se encuentran en los pórticos de 2 a 3 pisos, y en el sistema de mampostería confinada debido al gran numero en m2 que representa y al nivel de daño que se tiene en las estructuras.

Tabla 20. Correlación De Pérdidas Según Tipo De Estructura Y Tipo De Suelo por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales

CORELACION PERDIDAS ENTRE TIPO ESTRUCTURAL Y SUELOS	CENIZAS	LLENOS	SUBTOTALES
MAMPOSTERIA CONFINADA	\$ 416.800	\$ -	\$ 416.800
MAMPOSTERIA REFORZADA	\$ 133.813.000	\$ 4.973.000	\$ 138.786.000
MAMPOSTERIA SIMPLE	\$ 482.550.000	\$ 105.910.000	\$ 588.460.000
PORTICO	\$ 2.097.940.000	\$ 93.870.000	\$ 2.191.810.000
TOTAL			\$ 2.919.472.800
CORELACION ENTRE TIPO ESTRUCTURAL Y TIPO DE SUELOS EN M2	CENIZAS	LLENOS	SUBTOTALES
MAMPOSTERIA CONFINADA	\$ 26	\$ -	\$ 26
MAMPOSTERIA REFORZADA	\$ 599	\$ 26	\$ 625
MAMPOSTERIA SIMPLE	\$ 1.588	\$ 208	\$ 1.797
PORTICO	\$ 3.151	\$ 104	\$ 3.255
TOTAL			\$ 5.703

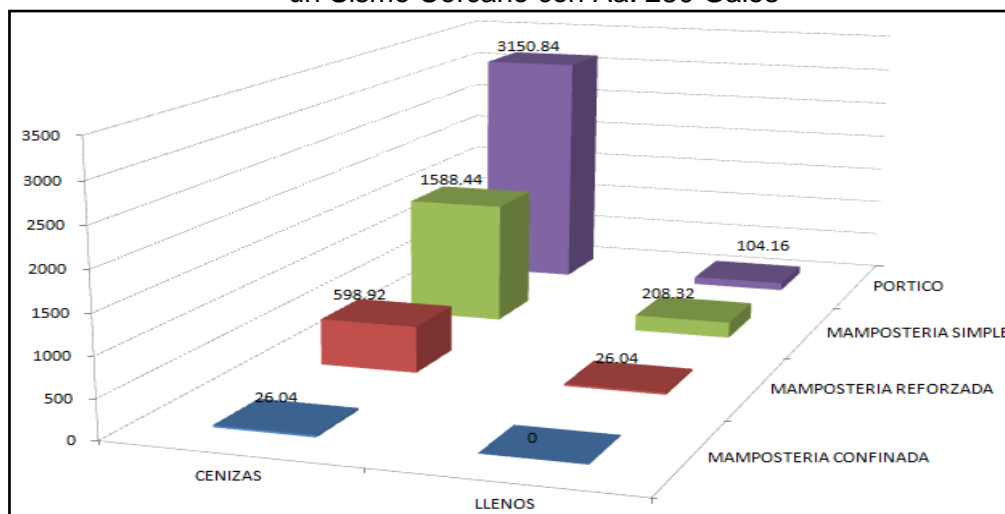
Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 13. Correlación De Pérdidas Según Tipo De Estructura Y Tipo De Suelo en Pesos por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 14. Correlación De Pérdidas Según Tipo De Estructura y Tipo De Suelo en M² por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

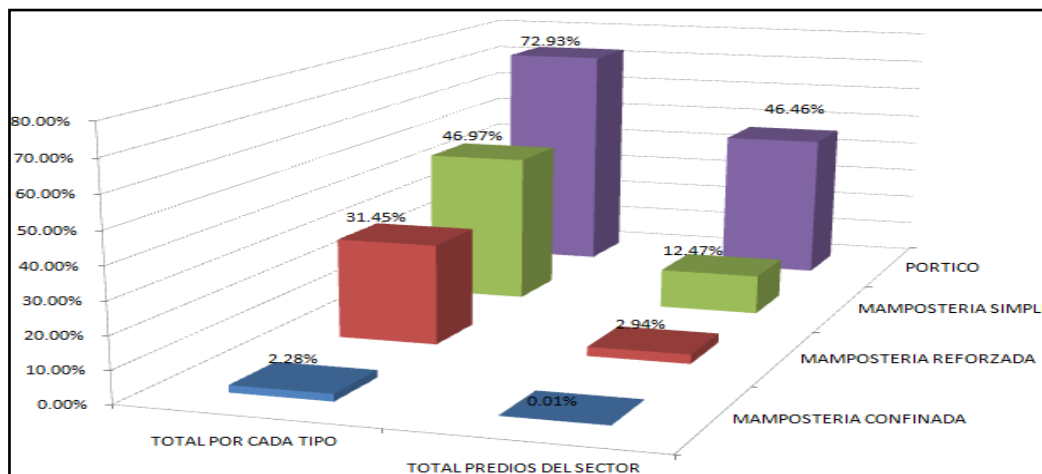
La mayoría de las pérdidas en esta correlación se presentan en los pórticos ubicados en el tipo de suelo cenizas debido a la proporción del área y las pérdidas producidas.

Tabla 21. Pérdidas Asociadas Al Tipo Estructural por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales

TIPO DE ESTRUCTURA	TOTAL POR CADA TIPO	TOTAL PREDIOS DEL SECTOR
MAMPOSTERIA CONFINADA	2.28%	0.01%
MAMPOSTERIA REFORZADA	31.45%	2.94%
MAMPOSTERIA SIMPLE	46.97%	12.47%
PORTICO	72.93%	46.46%

Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 15. Pérdidas Asociadas Al Tipo Estructural por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Para estructuras en el sistema estructural Aporticado del 100% de m^2 construidos en este sistema se pierde el 72.93%, lo que indica que más de la mitad de las edificaciones en Pórtico tienen una mayor tendencia a presentar daños, y es muy representativo ya que estas pérdidas representan el 46.46% sobre las pérdidas totales en m^2 .

Para estructuras en mampostería simple se pierde el 46.97% de m^2 construidos en este tipo, que representa el 12.47% sobre las pérdidas totales.

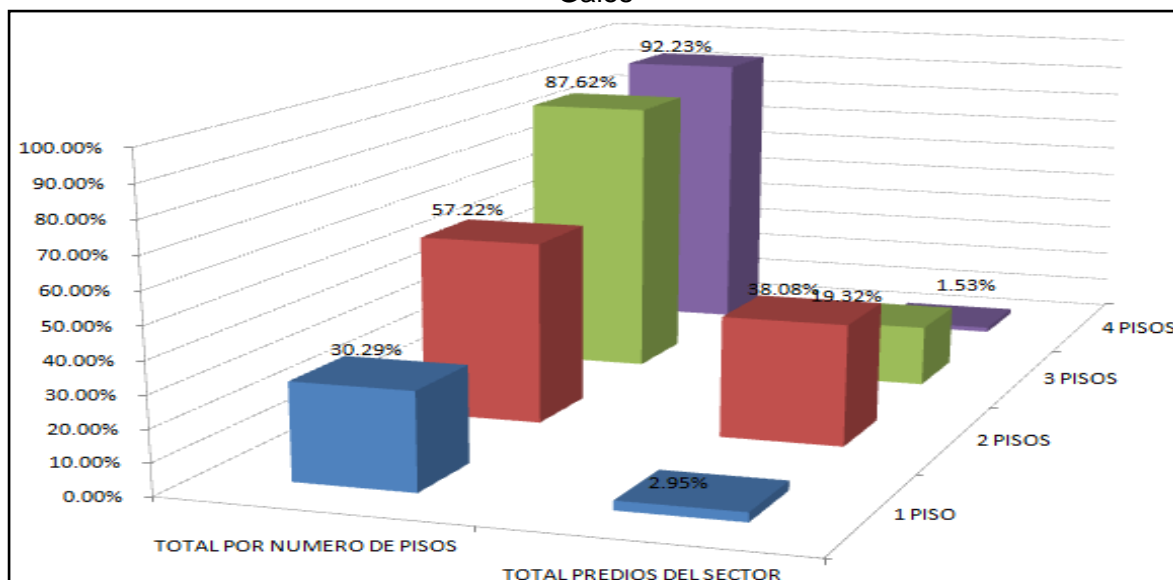
Se puede concluir que las estructuras que mayores pérdidas presentan son los pórticos y mampostería simple, pues representan casi la totalidad de los m^2 construidos en estos sistemas son en los que más se presentan las pérdidas, siendo más representativa las pérdidas en pórtico ya que representan el 46.46% de las pérdidas totales en m^2 .

Tabla 22. Pérdidas Asociadas Al Número De Pisos por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales

# DE PISOS	TOTAL POR NUMERO DE PISOS	TOTAL PREDIOS DEL SECTOR
1 PISO	30.29%	2.95%
2 PISOS	57.22%	38.08%
3 PISOS	87.62%	19.32%
4 PISOS	92.23%	1.53%

Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 16. Pérdidas Asociadas Al Número De Pisos por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Podemos observar que las estructuras que mayor índice de pérdidas presentan son las de 4 pisos ya que el 92.23% de m^2 construidos en esta altura se pierden y las pérdidas no estructurales por derivas teniendo en cuenta que justo esta

estructura es un pórtico se tiene que las pérdidas son casi totales, pero es poco representativo en cuanto al total de predios del sector ya que apenas representa el 1.53% de los m².

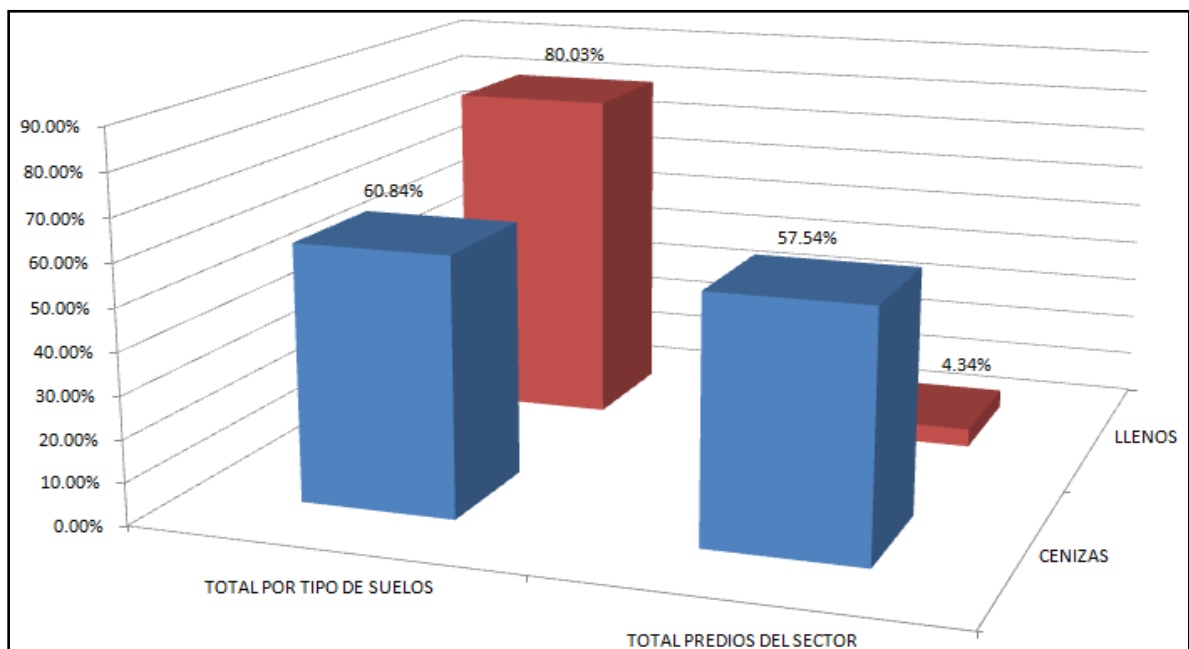
El resto de estructuras también poseen un alto índice de pérdidas en especial las de 2 y 3 pisos, con los porcentajes más significativos del 87.62% y el 57.22% de m² construidos y son los más representativos debido al gran número de predios del sector, los cuales constituyen el 19.32% y el 38.08% de las pérdidas totales respectivamente.

Tabla 23. Pérdidas Asociadas Al Tipo De Suelo por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales

SUELOS	TOTAL POR TIPO DE SUELOS	TOTAL PREDIOS DEL SECTOR
CENIZAS	60.84%	57.54%
LLENOS	80.03%	4.34%

Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 17 Pérdidas Asociadas Al Tipo De Suelo por un Sismo Cercano con Aa: 280 Gales



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Las pérdidas en llenos del 100% de m² construidos sobre este tipo de suelo el 80.03% se pierden. Pero estas pérdidas son poco representativas si observamos que Estas pérdidas son el 4.34% de las pérdidas totales del sector.

Las pérdidas más representativas están en los suelos de Cenizas ya que del 100% de m² construidos sobre este tipo de suelo el 60.84% se pierden. Estas pérdidas son el 57.54% de las pérdidas totales del sector.

RESUMEN DE PÉRDIDAS ASOCIADAS A UN SISMO CERCANO CON Aa= 280 Gales

Si se llegara a presentar un sismo cercano superficial con una aceleración máxima en roca de 0.28g en una de las fallas locales (a una distancia epicentral entre 5 y 20 Km.) se podría esperar una destrucción aproximada del 62 % en el sector de Quintas De Panorama 1 lo que representaría una pérdida de 2.919.472.800 millones de pesos y de 5702.76 m². En todo sector los daños generalizados superan el 50% ante un sismo cercano.

Los mayores porcentajes de pérdidas producidas por este sismo se dan en las estructuras de tipo Aporticadas, construidas después de 1998, de uso residencial y de 2 pisos ubicadas en tipo de suelo Cenizas.

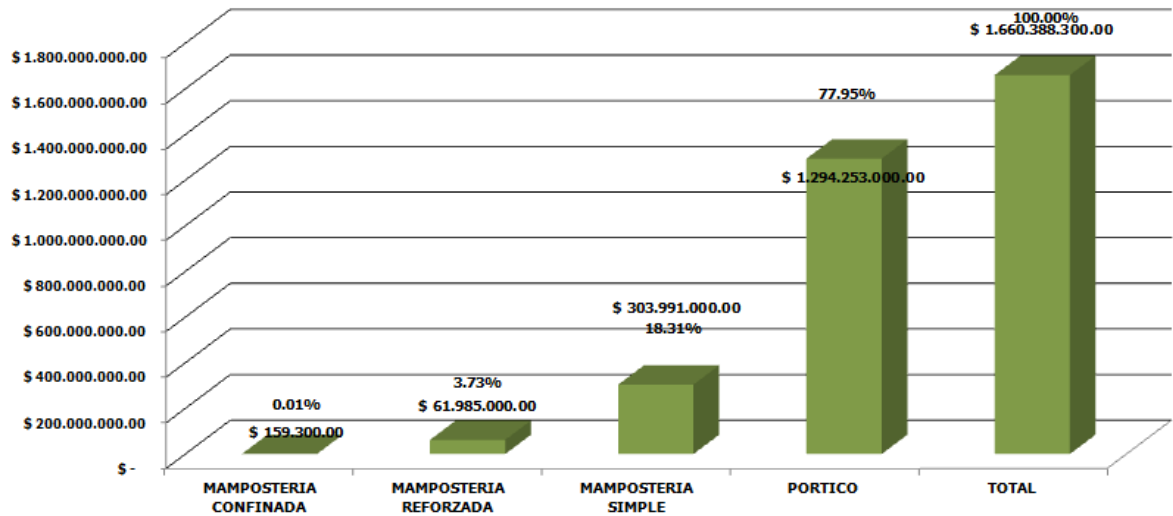
11.5.2 Análisis De Pérdidas Producidas Por Un Sismo Intermedio Con Aa: 180 Gales

Tabla 24. Análisis de Pérdidas Producidas por Un Sismo Intermedio Aa: 180 Gales, Asociadas al Tipo Estructural

TIPO DE ESTRUCTURA	PERDIDAS	% PERDIDAS	PERDIDAS EN M2	% DE M2
MAMPOSTERIA CONFINADA	\$ 159.300.00	0.01%	14.7	0.46%
MAMPOSTERIA REFORZADA	\$ 61.985.000.00	3.73%	352.8	10.96%
MAMPOSTERIA SIMPLE	\$ 303.991.000.00	18.31%	1014.3	31.51%
PORTICO	\$ 1.294.253.000.00	77.95%	1837.5	57.08%
TOTAL	\$ 1.660.388.300.00	100.00%	3219.3	100.00%

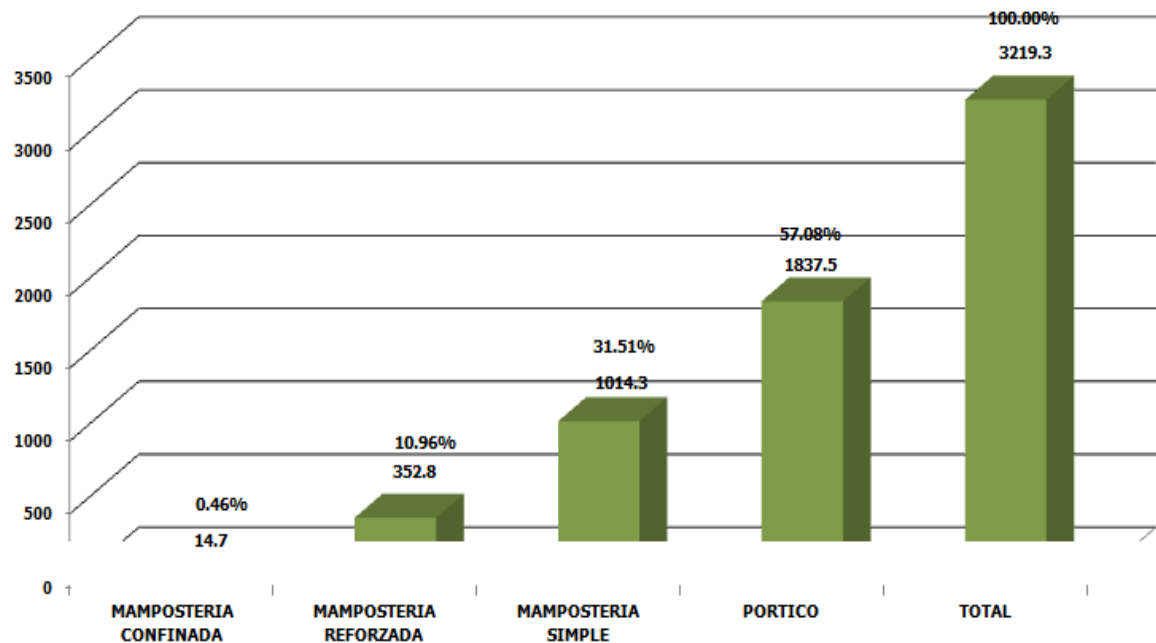
Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 18. Análisis de Pérdidas Producidas por Un Sismo Intermedio Aa: 180 Gales, Asociadas al Tipo Estructural en Pesos



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 19. Análisis de Pérdidas Producidas por Un Sismo Intermedio Aa: 180 Gales, Asociadas al Tipo Estructural en M²



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Analizando la gráfica de pérdidas por tipo de estructura tenemos:

El sistema de Pórticos de concreto tiene mayor presencia en el sector y es el que más pérdidas en cuanto dinero y a m² perdidos representa, la gráfica nos muestra que la perdida de los pórticos asciende a un costo de \$ 1.294.253.000,

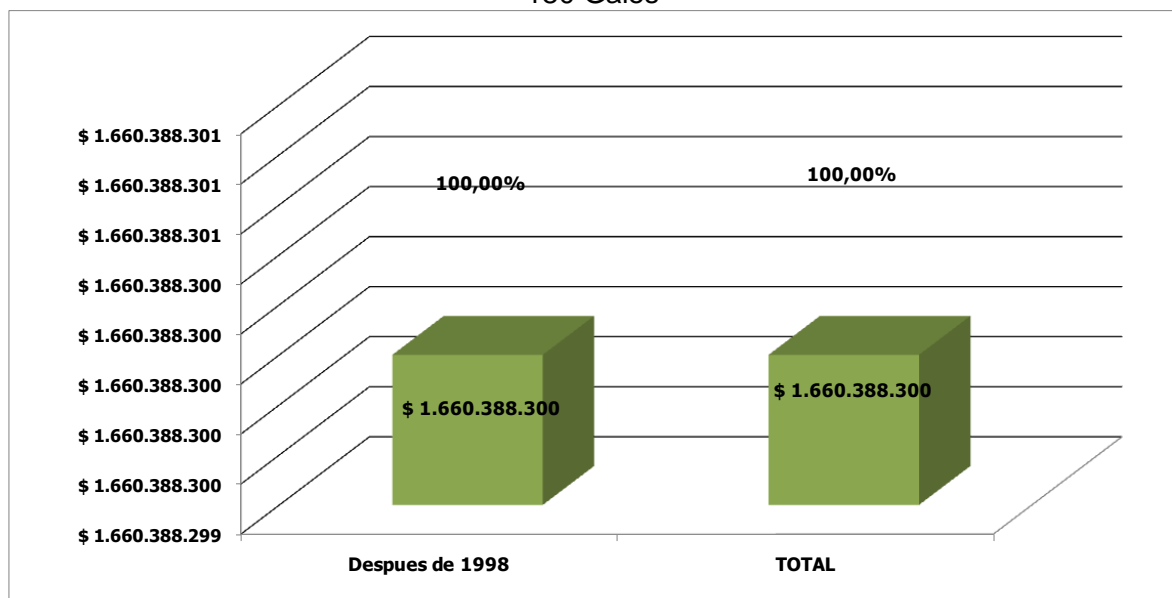
representando el 77,95% de las pérdidas del sector, y las pérdidas en m² ascienden a 1837.5 m² el cual corresponde al 57.08% de las pérdidas en m² que tienen en el sector. Como también es importante concluir que las estructuras en mampostería simple cuentan con una menor área en m² con respecto al sistema de pórtico, pero que en proporción en cuanto a la afectación en pérdida es mayor. Como lo podemos observar en la gráfica las tendencias con respecto a las pérdidas siguen siendo considerables ante un sismo intermedio de 180 gales.

Tabla 25. Pérdidas Asociadas al Periodo de Construcción por Un Sismo Intermedio Aa: 180 Gales

TIPO DE ESTRUCTURA	PERDIDAS	% PERDIDAS	PERDIDAS EN M2	% DE M2
Despues de 1998	\$ 1.660.388.300.00	100.00%	100.00%	100.00%
TOTAL	\$ 1.660.388.300.00	100.00%	100.00%	100.00%

Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 20. Pérdidas Asociadas al Periodo de Construcción por Un Sismo Intermedio Aa: 180 Gales



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

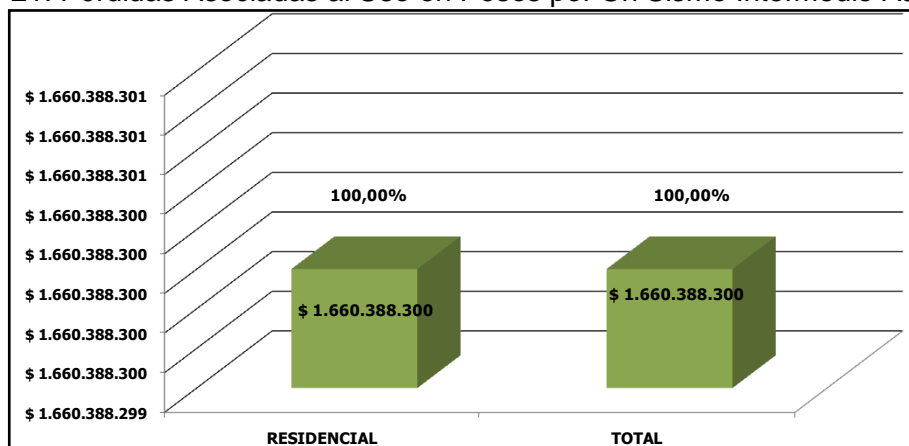
La totalidad de las pérdidas asociadas al periodo de construcción se dan después de 1998. Con un costo de 1.660.388.300 equivalente al 100% de las pérdidas del sector en m².

Tabla 26. Pérdidas Asociadas al Uso por Un Sismo Intermedio Aa: 180 Gales

USO	PERDIDAS	% PERDIDAS	PERDIDAS EN M2	% DE M2
RESIDENCIAL	\$ 1.660.388.300.00	100.00%	100.00%	100.00%
TOTAL	\$ 1.660.388.300.00	100.00%	100.00%	100.00%

Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 21. Pérdidas Asociadas al Uso en Pesos por Un Sismo Intermedio Aa: 180 Gales



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

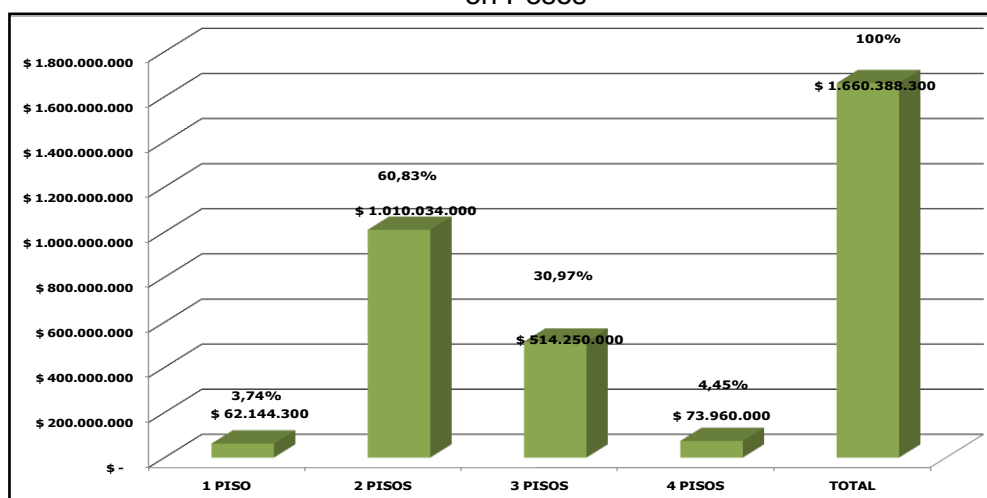
La Totalidad de las pérdidas asociadas al USO de la construcción corresponde a Residencial. Con un costo de 1.660.388.300 equivalente al 100% de las pérdidas del sector en m².

Tabla 27. Pérdidas Asociadas Al Número De Pisos por Un Sismo Intermedio Aa: 180 Gales

# PISOS	PÉRDIDAS	% PÉRDIDAS	PÉRDIDAS EN M2	% DE M2
1 PISO	\$ 62.144.300	3.74%	367.5	11.42%
2 PISOS	\$ 1.010.034.000	60.83%	2176	67.58%
3 PISOS	\$ 514.250.000	30.97%	617.4	19.18%
4 PISOS	\$ 73.960.000	4.45%	58.8	1.83%
TOTAL	\$ 1.660.388.300	100%	3219.3	100%

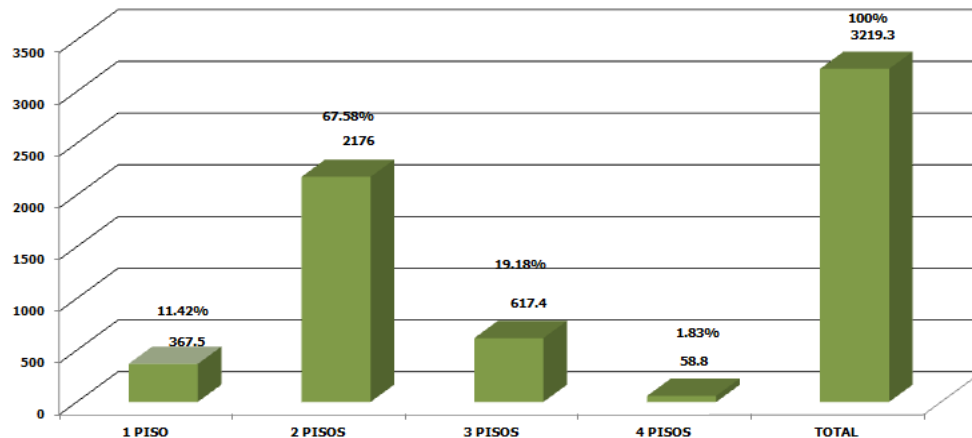
Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 22. Pérdidas Asociadas Al Número De Pisos Sismo Intermedio Aa: de 180 Gales en Pesos



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 23. Pérdidas Asociadas Al Número De Pisos Sismo Intermedio Aa: de 180 Gales



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

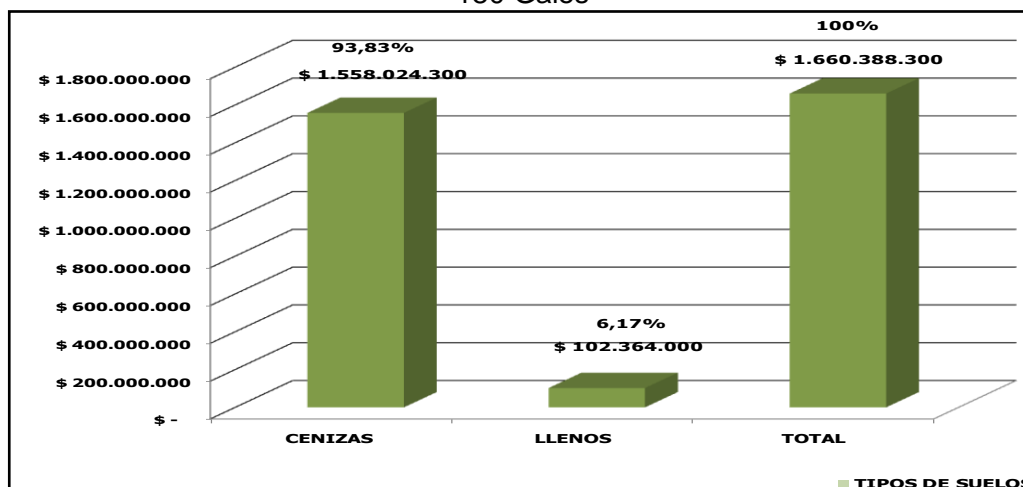
Como se puede ver en las gráficas, las edificaciones más afectadas en cuanto al valor de las pérdidas económicas y de m² según el número de pisos son las construcciones de 2 pisos, que representan un 67.58% del total de las edificaciones del sector, probablemente debido al contenido frecuencial del sismo. Las pérdidas ascienden a un total de \$1.010.034.000 que representan el 60.83% de las pérdidas del sector y a 2176 m² que representan el 67.58% de las pérdidas totales por m².

Tabla 28. Pérdidas Asociadas Al Tipo De Suelos por Un Sismo Intermedio Aa: 180 Gales

PÉRDIDAS	% PÉRDIDAS	TIPOS DE SUELOS	PÉRDIDAS EN M2	% DE M2
\$ 1.558.024.300	93.83%	CENIZAS	3028.2	94.06%
\$ 102.364.000	6.17%	LLENOS	191.1	5.94%
\$ 1.660.388.300	100%	TOTAL	3219.3	100%

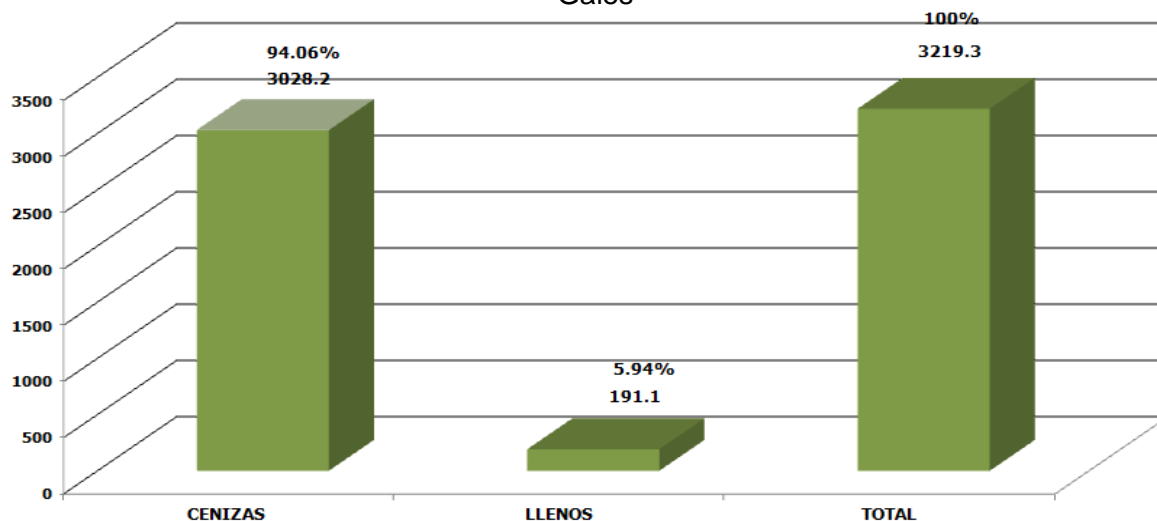
Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 24. Pérdidas Asociadas Al Tipo de Suelos en Pesos por Un Sismo Intermedio Aa: 180 Gales



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 25. Pérdidas Asociadas Al Tipo de Suelos en M² por Un Sismo Intermedio Aa: 180 Gales



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

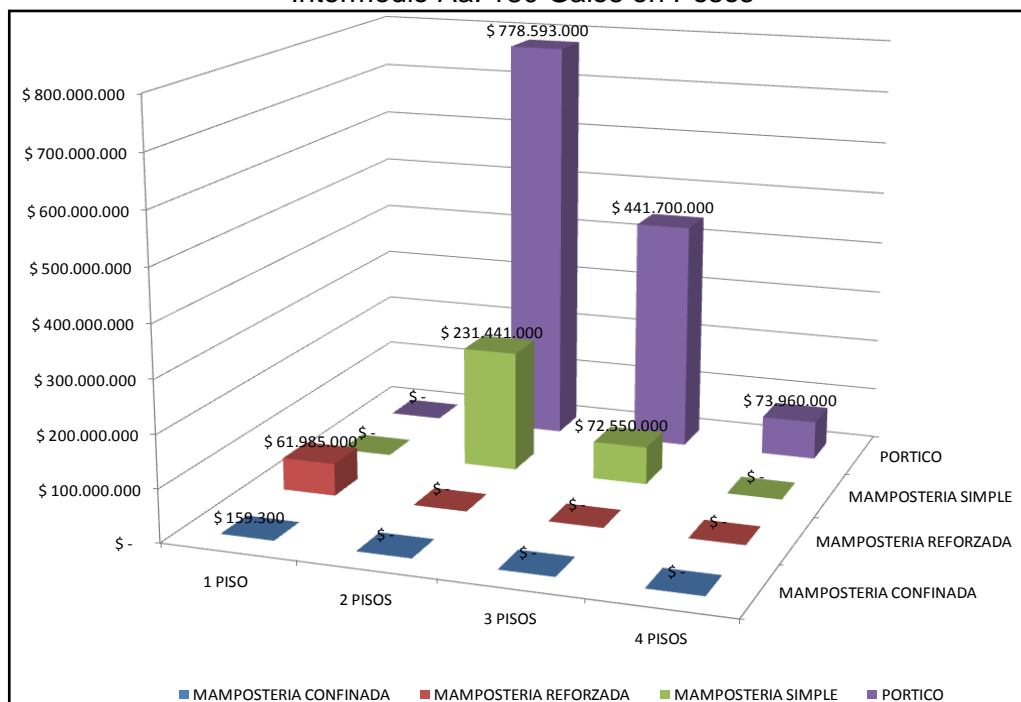
Observamos que el tipo de suelo en el que se presentan las mayores pérdidas es en el de Cenizas con un total de pérdidas económicas de \$ 1.558.024.300 que representan el 93.83% del total y de 3028.2 m² que representan el 94.06% de las pérdidas totales en m². También se observa el tipo de suelos llenos aunque es un área menor su proporción en pérdidas es mayor debido principalmente a su gran capacidad de amplificar las ondas sísmicas como se pudo observar en el numeral 8.3.3, dando como resultado un mayor nivel de daño en las estructuras.

Tabla 29. Correlación Pérdidas Entre Tipo Estructural y Número de Pisos por Un Sismo Intermedio Aa: 180 Gales

DE PISOS	1 PISO	2 PISOS	3 PISOS	4 PISOS	SUBTOTALES
MAMPOSTERIA CONFINADA	\$ 159.300.00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 159.300.00
MAMPOSTERIA REFORZADA	\$ 61.985.000.00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 61.985.000.00
MAMPOSTERIA SIMPLE	\$ -	\$ 231.441.000.00	\$ 72.550.000.00	\$ -	\$ 303.991.000.00
PORTICO	\$ -	\$ 778.593.000.00	\$ 441.700.000.00	\$ 73.960.000.00	\$ 1.294.253.000.00
TOTAL					\$ 1.660.388.300.00
CORRELACION ENTRE TIPO ESTRUCTURAL Y NUMERO DE PISOS EN M2					
	1 PISO	2 PISOS	3 PISOS	4 PISOS	SUBTOTALES
MAMPOSTERIA CONFINADA	14.7	0	0	0	14.7
MAMPOSTERIA REFORZADA	352.8	0	0	0	352.8
MAMPOSTERIA SIMPLE	0	882	132.3	0	1014.3
PORTICO	0	1293.6	485.1	58.8	1837.5
TOTAL					3219.3

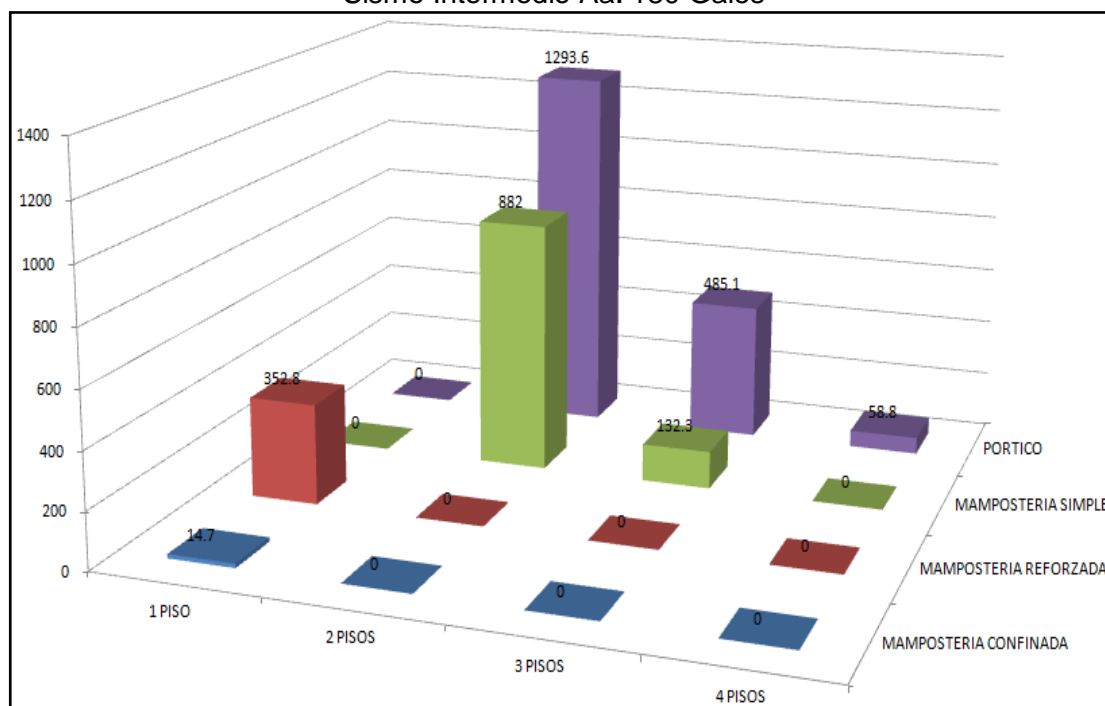
Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 26. Correlación Pérdidas Entre Tipo Estructural y Número de Pisos por Un Sismo Intermedio Aa: 180 Gales en Pesos



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 27. Correlación Pérdidas Entre Tipo Estructural y Número de Pisos en M² por Un Sismo Intermedio Aa: 180 Gales



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

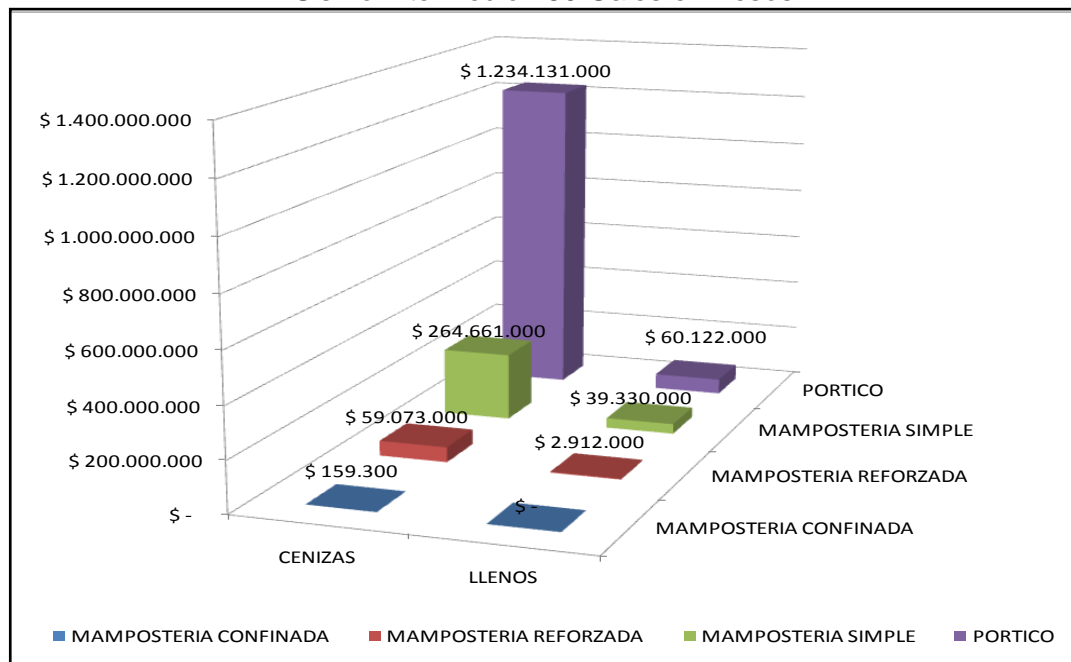
Se observa que las mayores pérdidas se encuentran en los pórticos de 2 a 3 pisos, y en el sistema de Mampostería Simple debido al gran numero en m2 que representa y al nivel de daño que se tiene en las estructuras.

Tabla 30 Correlación Pérdidas Entre Tipo Estructural y Suelos 180 Gales

CORELACION PERDIDAS ENTRE TIPO ESTRUCTURAL Y SUELOS	CENIZAS	LLENOS	SUBTOTALES
MAMPOSTERIA CONFINADA	\$ 159.300.00	\$ -	\$ 159.300.00
MAMPOSTERIA REFORZADA	\$ 59.073.000.00	\$ 2.912.000.00	\$ 61.985.000.00
MAMPOSTERIA SIMPLE	\$ 264.661.000.00	\$ 39.330.000.00	\$ 303.991.000.00
PORTICO	\$ 1.234.131.000.00	\$ 60.122.000.00	\$ 1.294.253.000.00
TOTAL			\$ 1.660.388.300.00
CORELACION ENTRE TIPO ESTRUCTURAL Y NUMERO DE PISOS EN M2	CENIZAS	LLENOS	SUBTOTALES
MAMPOSTERIA CONFINADA	14.7	0	14.7
MAMPOSTERIA REFORZADA	338.1	14.7	352.8
MAMPOSTERIA SIMPLE	896.7	117.6	1014.3
PORTICO	1778.7	58.8	1837.5
TOTAL			3219.3

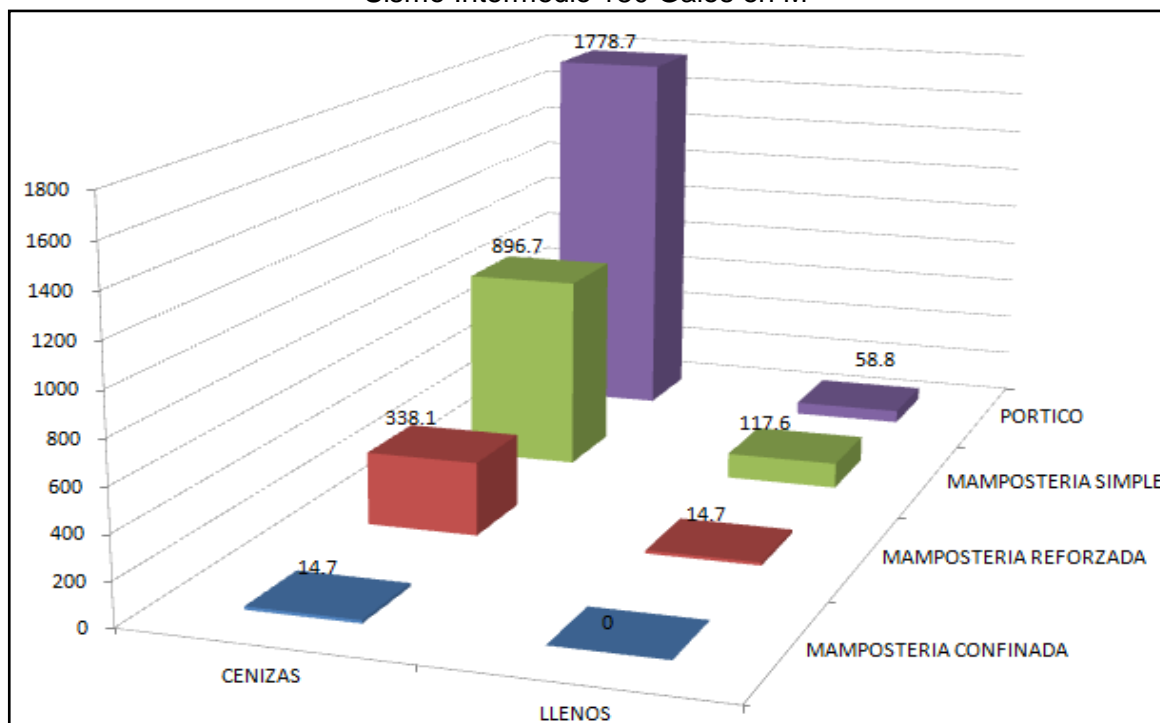
Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 28. Correlaciones de Pérdidas Según Tipo de Suelo y Tipo de Estructura Para Sismo Intermedio 180 Gales en Pesos



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 29. Correlaciones De Pérdidas Según Tipo De Suelo Y Tipo De Estructura Para Sismo Intermedio 180 Gales en M²



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

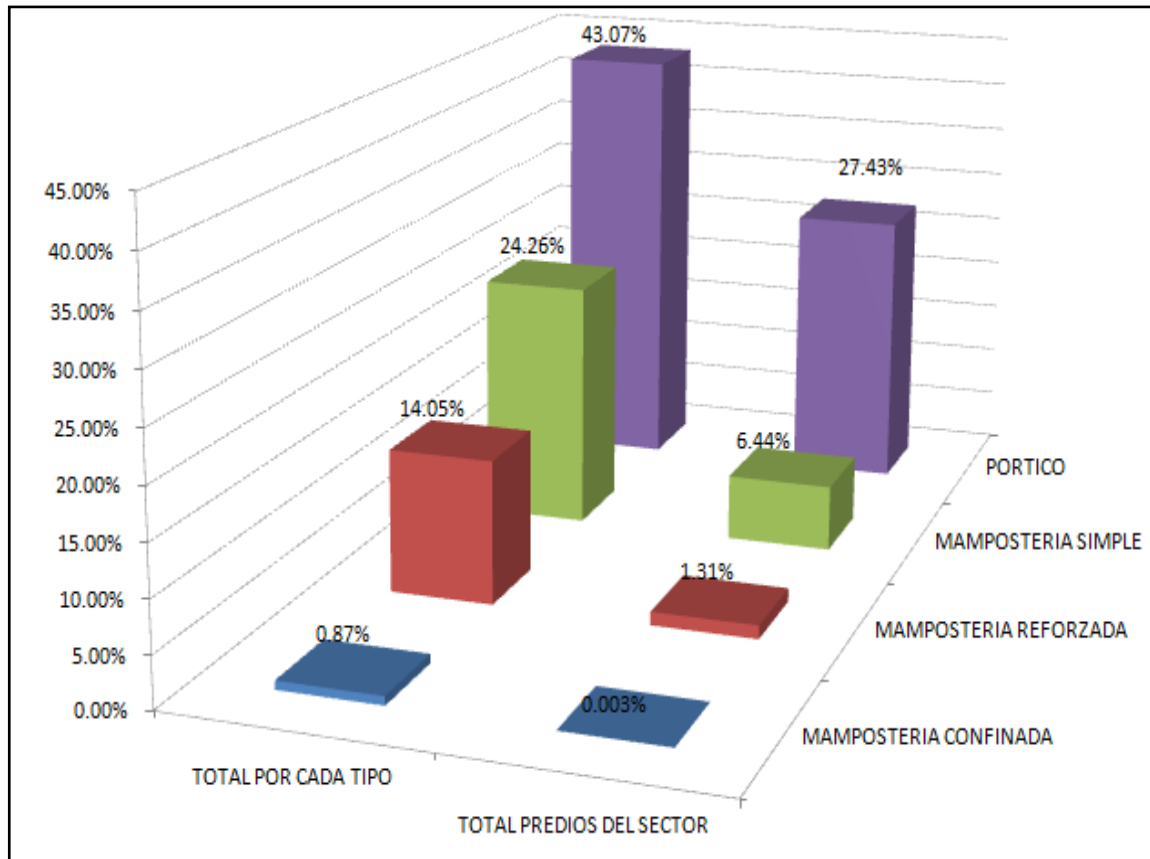
La mayoría de las pérdidas en esta correlación se presentan en los pórticos ubicados en el tipo de suelo cenizas debido a la proporción del área y las pérdidas ocasionadas.

Tabla 31. Pérdidas Asociadas Al Tipo Estructural por Un Sismo Intermedio Aa: 180 Gales

TIPO DE ESTRUCTURA	TOTAL POR CADA TIPO	TOTAL PREDIOS DEL SECTOR
MAMPOSTERIA CONFINADA	0.87%	0.003%
MAMPOSTERIA REFORZADA	14.05%	1.31%
MAMPOSTERIA SIMPLE	24.26%	6.44%
PORTICO	43.07%	27.43%

Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 30. Pérdidas Asociadas Al Tipo Estructural por Un Sismo Intermedio Aa: 180 Gales



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Para estructuras en el sistema estructural Aporticado del 100% de m² construidos en este sistema se pierde el 43.07%, lo que indica que más de la mitad de las edificaciones en Pórtico tienen una mayor tendencia a colapsar, y es muy representativo ya que estas pérdidas representan el 27.43% sobre las pérdidas totales en m².

Para estructuras en mampostería simple se pierde el 24.26% de m² construidos en este tipo, que representa el 6.44% sobre las pérdidas totales.

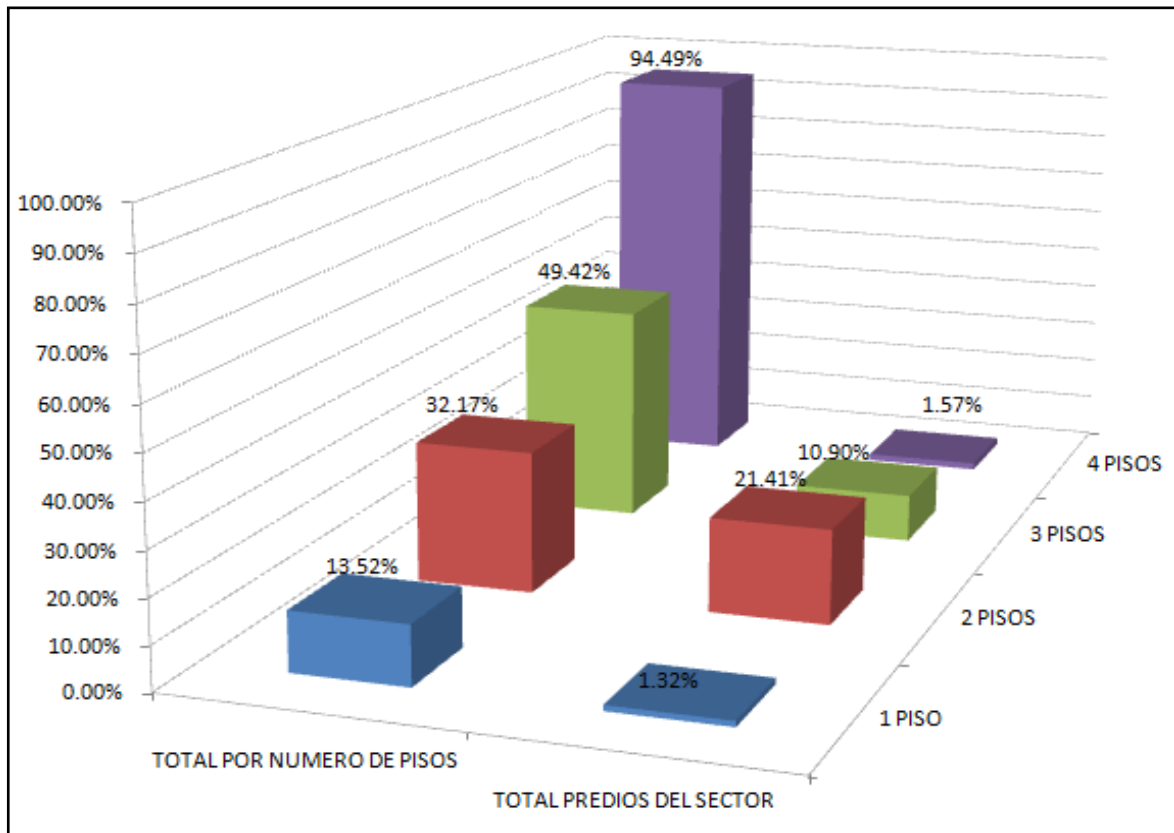
Se puede concluir que las estructuras que mayores pérdidas presentan son los pórticos y mampostería estructural, pues representan casi la totalidad de los m² construidos en estos sistemas son en los que más se presentan las pérdidas, siendo más representativa las pérdidas en pórtico ya que representan el 27.43% de las pérdidas totales en m² (35%).

Tabla 32. Pérdidas Asociadas Al Número De Pisos – Predios del Sector por Un Sismo Intermedio Aa: 180 Gales

# DE PISOS	TOTAL POR NUMERO DE PISOS	TOTAL PREDIOS DEL SECTOR
1 PISO	13.52%	1.32%
2 PISOS	32.17%	21.41%
3 PISOS	49.42%	10.90%
4 PISOS	94.49%	1.57%

Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 31. Pérdidas Asociadas Al Número De Pisos – Predios del Sector por Un Sismo Intermedio Aa: 180 Gales



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Podemos observar que las estructuras que mayor índice de pérdidas presentan son las de 4 pisos ya que el 94.49% de m² construidos en esta altura se pierden y las pérdidas no estructurales por derivas teniendo en cuenta que justo esta estructura es un pórtico se tiene que las pérdidas son casi totales, pero es poco representativo en cuanto al total de predios del sector ya que apenas representa el 1.57% de los m².

El resto de estructuras también poseen un alto índice de pérdidas en especial las de 2 y 3 pisos con los porcentajes más representativos del 32.17% y el 49.42% m²

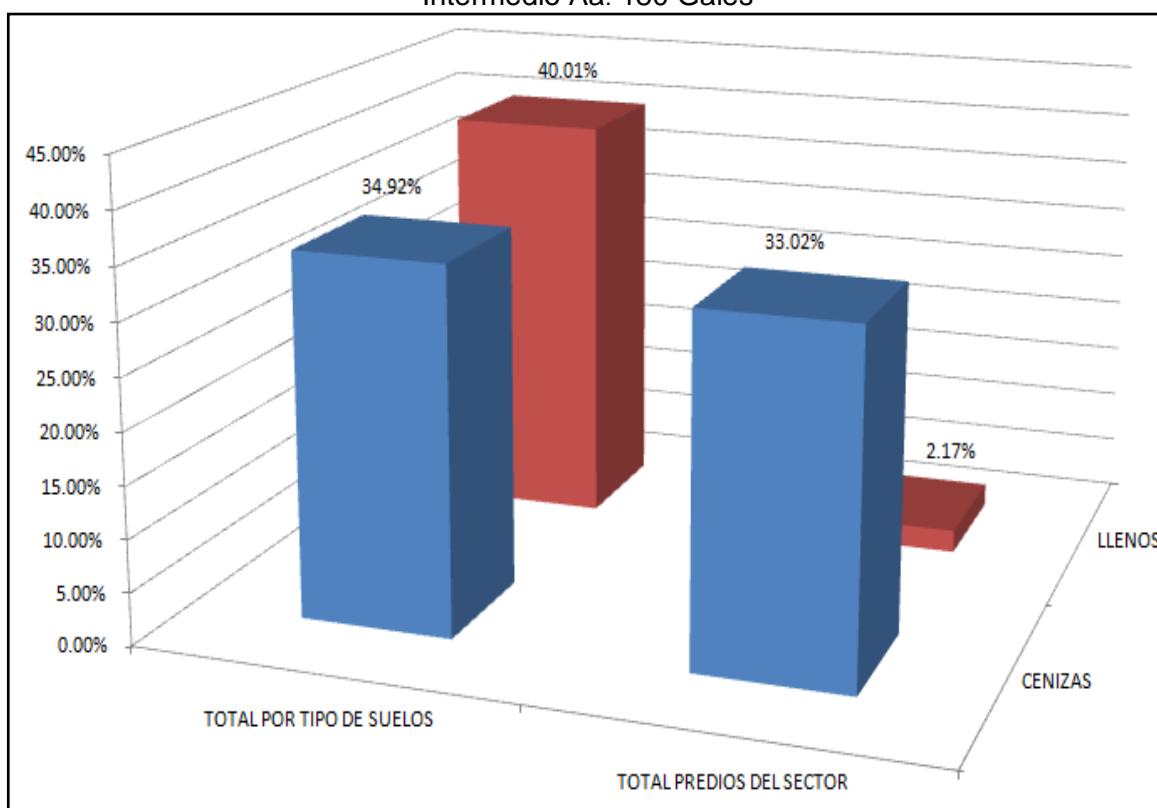
construidos respectivamente, y son las más representativos debido al gran número de predios del sector a los cuales representan con el 21.41% y el 10.90% de las pérdidas totales respectivamente.

Tabla 33. Pérdidas Asociadas Al Tipo De Suelo – Predios del Sector por Un Sismo Intermedio Aa: 180 Gales

SUELOS	TOTAL POR TIPO DE SUELOS	TOTAL PREDIOS DEL SECTOR
CENIZAS	34.92%	33.02%
LLENOS	40.01%	2.17%

Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 32. Pérdidas Asociadas Al Tipo De Suelo – Predios del Sector por Un Sismo Intermedio Aa: 180 Gales



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Las pérdidas en llenos del 100% de m² construidos sobre este tipo de suelo el 40.01% se pierden. Pero estas pérdidas son poco representativas si observamos que Estas pérdidas son el 2.17% de las pérdidas totales del sector.

Las pérdidas más representativas están en los suelos de Cenizas ya que del 100% de m² construidos sobre este tipo de suelo el 34.92% se pierden. Estas pérdidas son el 33.02% de las pérdidas totales del sector.

RESUMEN DE PÉRDIDAS ASOCIADAS A UN SISMO INTERMEDIO CON Aa: 180 gales

En la eventualidad de la ocurrencia de un sismo como los que se presentan en la zona de Benioff a profundidades entre 80 y 150 Km. con una aceleración máxima en roca de 0.18g, se podría esperar una destrucción aproximada del 35% en el Sector de Quintas De Panorama 1, lo que representaría una pérdida de 1.660.388.300 millones de pesos y de 3219.3 m².

Los mayores porcentajes de pérdidas producidas por este sismo se dan en las estructuras de tipo Aporticadas, construidas después de 1998, de uso residencial y de 2 pisos ubicadas en tipo de suelo Cenizas.

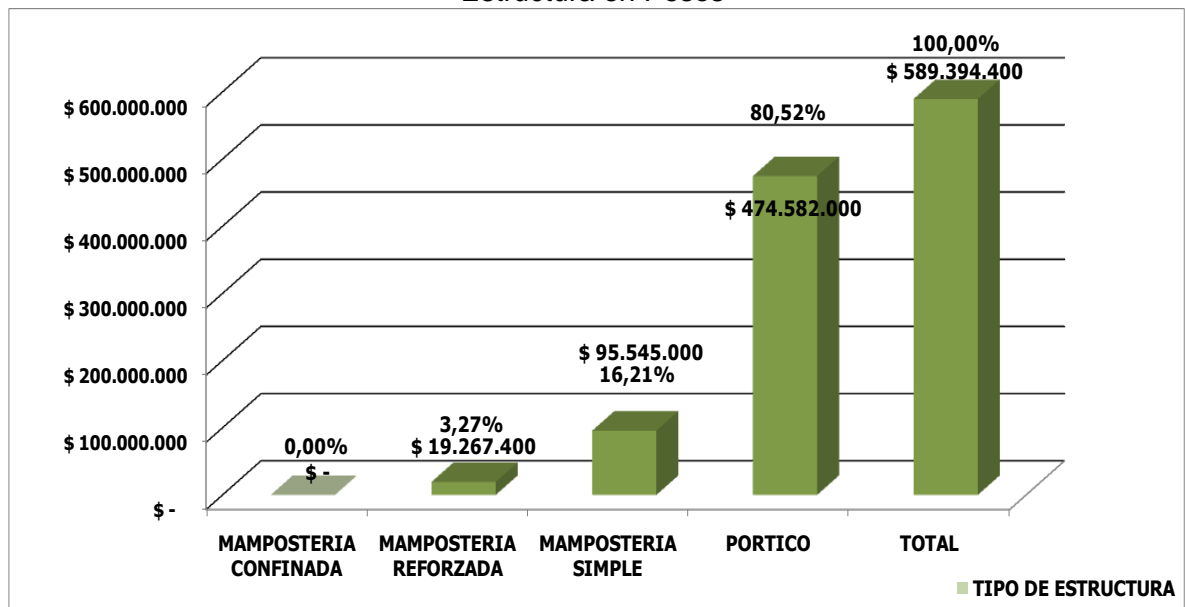
11.5.3 Análisis De Pérdidas Producidas Por Un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales

Tabla 34. Análisis de Pérdidas Producidas Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales

TIPO DE ESTRUCTURA	PÉRDIDAS	% PÉRDIDAS	PÉRDIDAS EN M2	% DE M2
MAMPOSTERIA CONFINADA	\$ -	0.00%		0.00%
MAMPOSTERIA REFORZADA	\$19.267.400	3.27%	120.96	11.01%
MAMPOSTERIA SIMPLE	\$ 95.545.000	16.21%	347.76	31.65%
PORTICO	\$474.582.000	80.52%	630	57.34%
TOTAL	\$589.394.400	100.00%	1098.72	100.00%

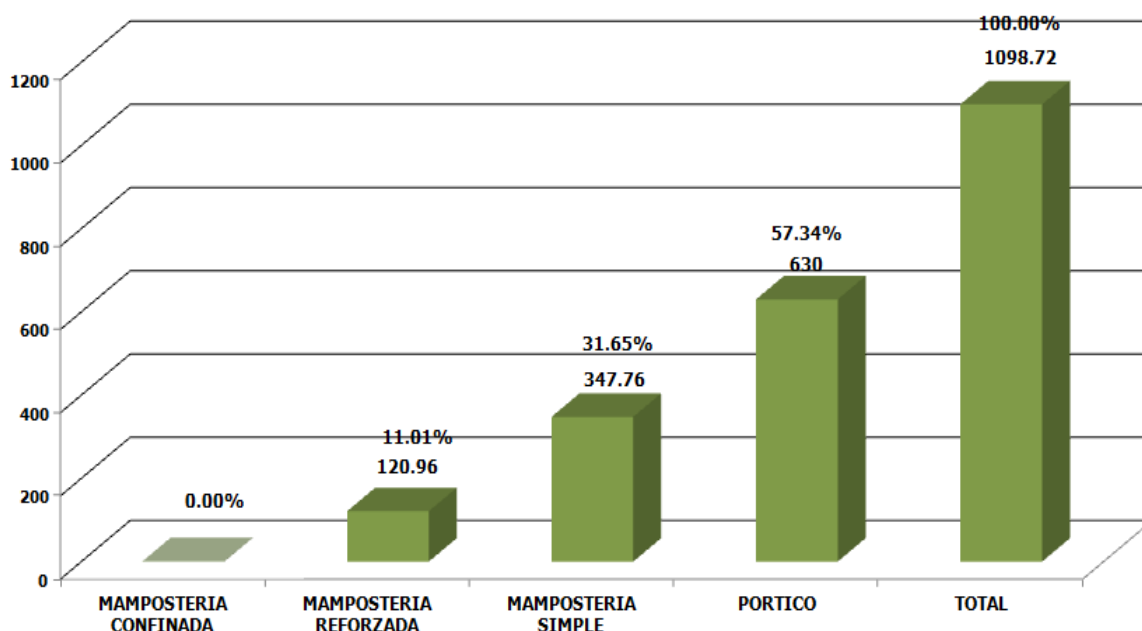
Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 33. Análisis de Pérdidas Producidas Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales – Estructura en Pesos



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 34. Análisis de Pérdidas Producidas Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales – Estructura en M²



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

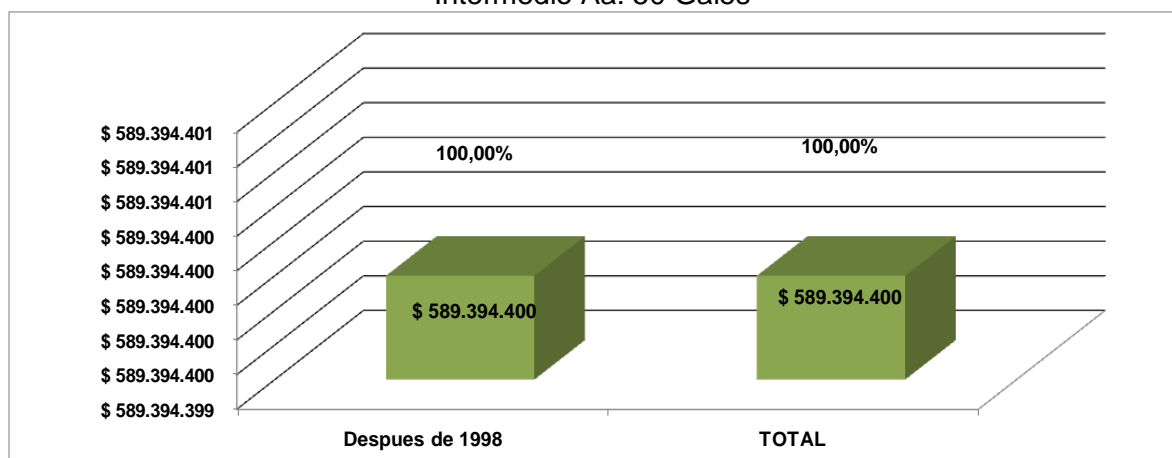
Considerando la gráfica anterior de pérdidas por tipo de estructura tenemos que el sistema Aporticado tiene mayor presencia en el sector y es el que más pérdidas en cuanto dinero y a m² perdidos representa, la gráfica nos muestra que la perdida de los pórticos asciende a un costo de \$474.582.000 representando el 80.52% de las pérdidas del sector, y las pérdidas en m² ascienden a 630 m² el cual corresponde al 57.34% de las pérdidas totales, la mayoría de estas pérdidas corresponde a elementos no estructurales ya que este es un sismo que no genera grandes solicitaciones sobre la estructura.

Tabla 35. Pérdidas Asociadas Al Periodo De Construcción Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales

TIPO DE ESTRUCTURA	PÉRDIDAS	% PÉRDIDAS	PÉRDIDAS EN M2	% DE M2
Después de 1998	\$ 589.394.400	100.00%	100.00%	100.00%
TOTAL	\$ 589.394.400	100.00%	100.00%	100.00%

Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 35. Pérdidas Asociadas Al Periodo De Construcción en Pesos Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

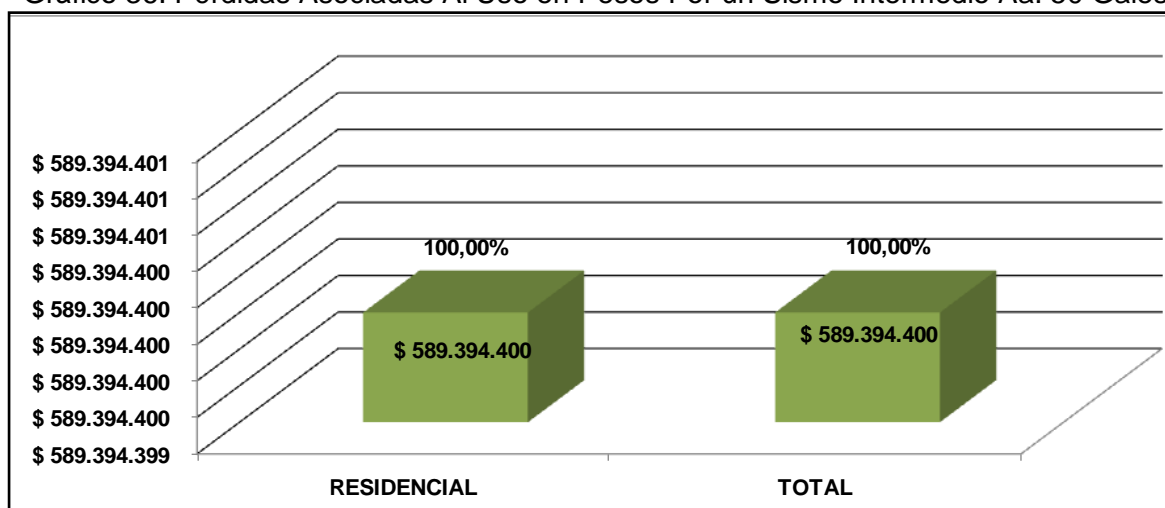
Observando la gráfica de pérdidas por año de construcción tenemos que la totalidad de las pérdidas asociadas al periodo de construcción se dan después de 1998. Con un costo de 589.394.400 equivalente al 100% de las pérdidas del sector en m2.

Tabla 36. Pérdidas Asociadas Al Uso Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales

USO	PÉRDIDAS	% PÉRDIDAS	PÉRDIDAS EN M2	% DE M2
RESIDENCIAL	\$ 589.394.400	100.00%	100.00%	100.00%
TOTAL	\$ 589.394.400	100.00%	100.00%	100.00%

Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 36. Pérdidas Asociadas Al Uso en Pesos Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

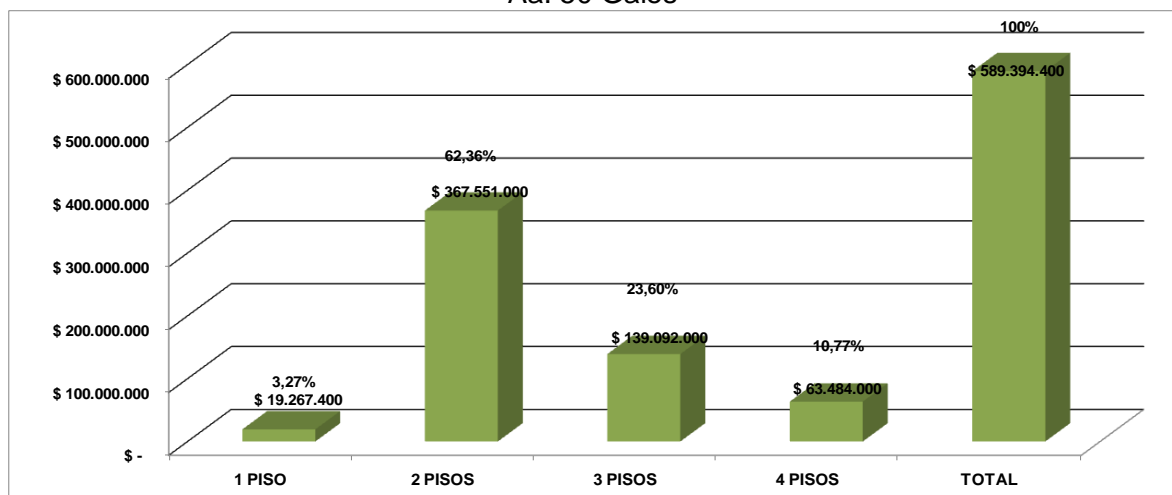
La totalidad de las pérdidas asociadas al USO de la construcción corresponde a Residencial.

Tabla 37. Pérdidas Asociadas Al Número De Pisos Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales

# PISOS	PÉRDIDAS	% PÉRDIDAS	PÉRDIDAS EN M2	% DE M2
1 PISO	\$ 19.267.400	3.27%	126	11.47%
2 PISOS	\$ 367.551.000	62.36%	746	67.89%
3 PISOS	\$ 139.092.000	23.60%	211.68	19.27%
4 PISOS	\$ 63.484.000	10.77%	20.16	1.83%
TOTAL	\$ 589.394.400	100%	1103.76	100%

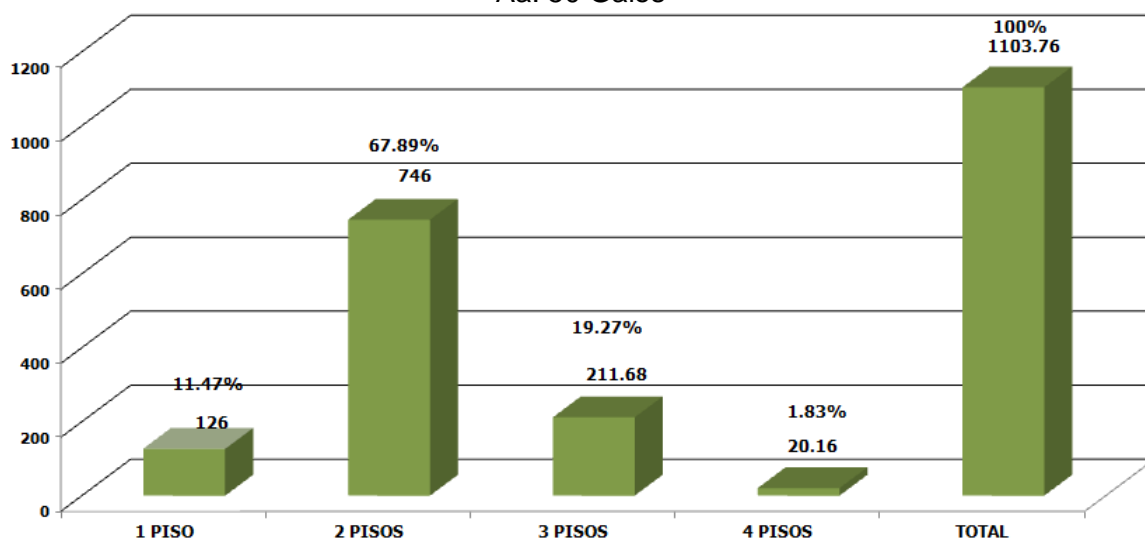
Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 37. Pérdidas Asociadas Al Número De Pisos en Pesos Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 38. Pérdidas Asociadas Al Número De Pisos en Pesos Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Dado un sismo de campo intermedio las edificaciones más afectadas en cuanto al valor de las pérdidas económicas y de m² según el número de pisos son las

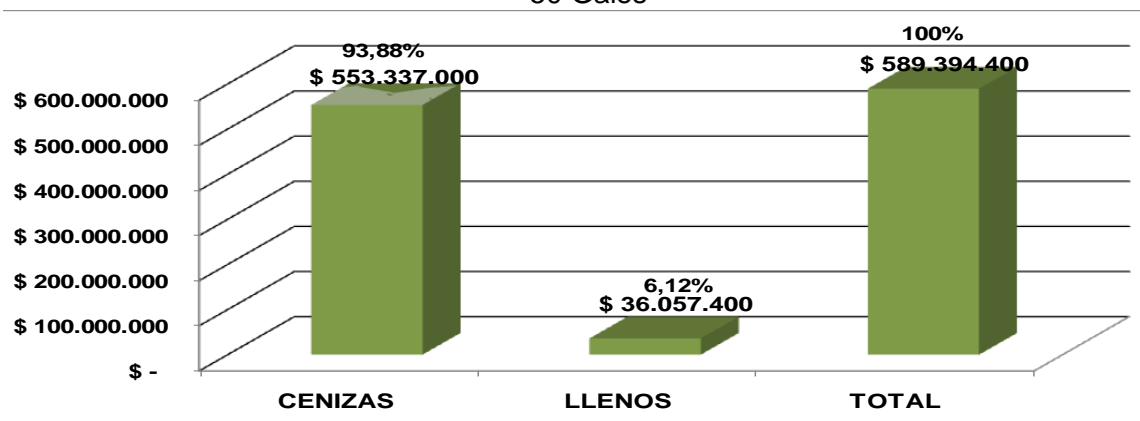
construcciones con mayor número de pisos en este caso las de 3 y 4 pisos, pero es poco representativo debido al poco número de m2 a los que se representa. Las mayores pérdidas se presentan en las edificaciones de 2 pisos dado su gran porcentaje en m2. Las pérdidas ascienden a un total de \$367.551.000 cuyo porcentaje sobre la pérdida total es de 62.36% de y a 746 m² que representan el 67.89% de las pérdidas totales por m².

Tabla 38. Pérdidas Asociadas al Tipo de Suelos Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales

PÉRDIDAS	% PÉRDIDAS	TIPOS DE SUELOS	PÉRDIDAS EN M2	% DE M2
\$ 553.337.000	93.88%	CENIZAS	1038.24	94.50%
\$ 36.057.400	6.12%	LLENOS	65.52	5.96%
\$ 589.394.400	100%	TOTAL	1103.76	100%

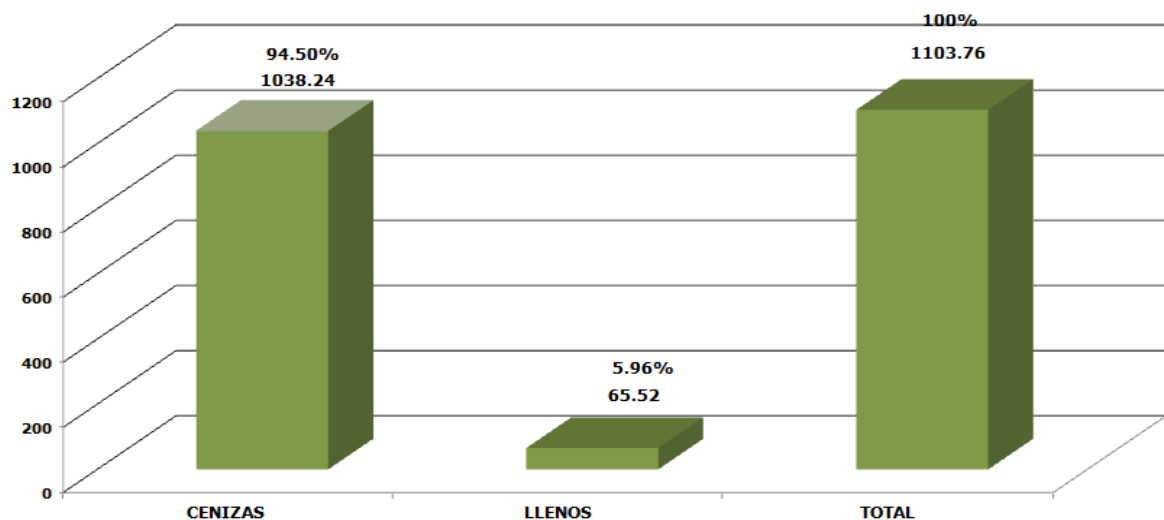
Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 39. Pérdidas Asociadas al Tipo de Suelos en Pesos Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 40. Pérdidas Asociadas al Tipo de Suelos Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales en Pesos



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Al observar que el tipo de suelo en el que se presentan las mayores pérdidas es en el de Cenizas con un total de pérdidas económicas de \$553.337.000 que representan el 93.88% del total y de 1038 m² que representan el 94.50% de las pérdidas totales en m².

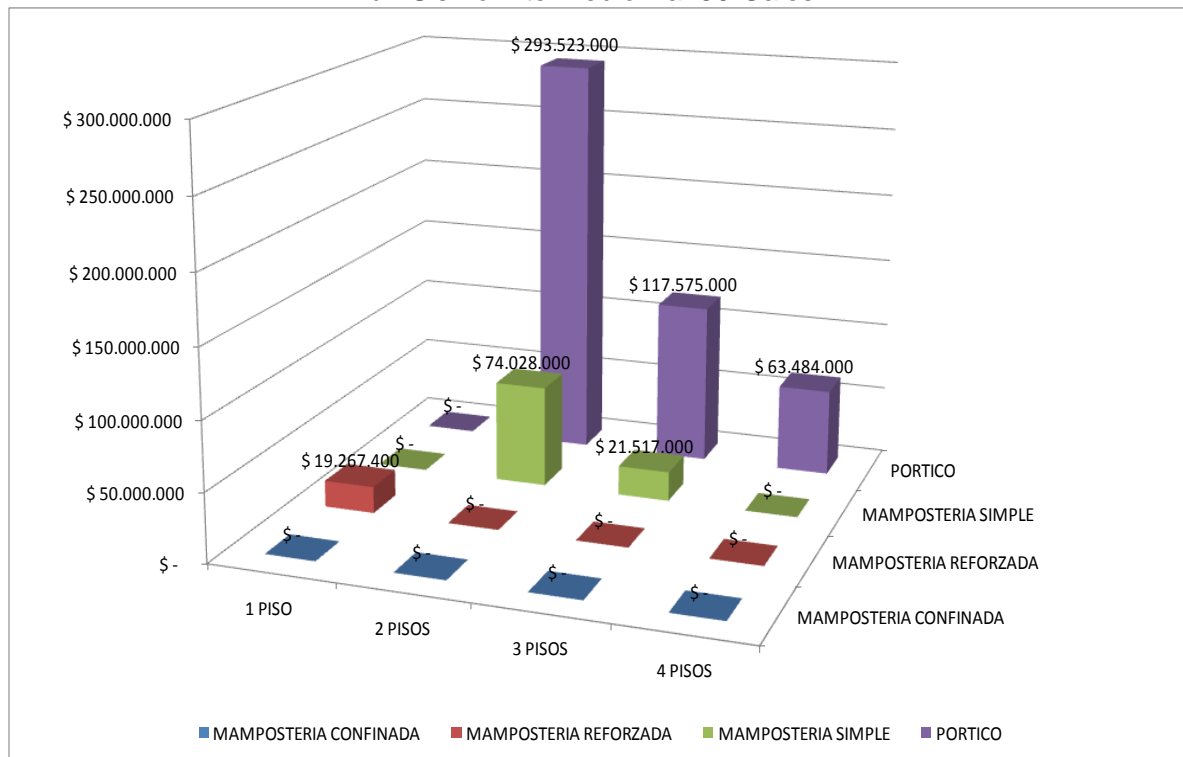
Tabla 39. Correlación Pérdidas Entre Tipo Estructural y Número de Pisos Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales

MAMPOSTERIA CONFINADA	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
MAMPOSTERIA REFORZADA	\$ 19.267.400.00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 19.267.400.00
MAMPOSTERIA SIMPLE	\$ -	\$ 74.028.000.00	\$ 21.517.000.00	\$ -	\$ 95.545.000.00
PORTICO	\$ -	\$ 293.523.000.00	\$ 117.575.000.00	\$ 63.484.000.00	\$ 474.582.000.00
TOTAL					\$ 589.394.400.00

CORELACION ENTRE TIPO ESTRUCTURAL Y NUMERO DE PISOS EN M2	1 PISO	2 PISOS	3 PISOS	4 PISOS	SUBTOTALES
MAMPOSTERIA CONFINADA		0	0	0	0
MAMPOSTERIA REFORZADA	120.96	0	0	0	120.96
MAMPOSTERIA SIMPLE	0	302.4	45.36	0	347.76
PORTICO	0	443.52	166.32	20.16	630
TOTAL					1098.72

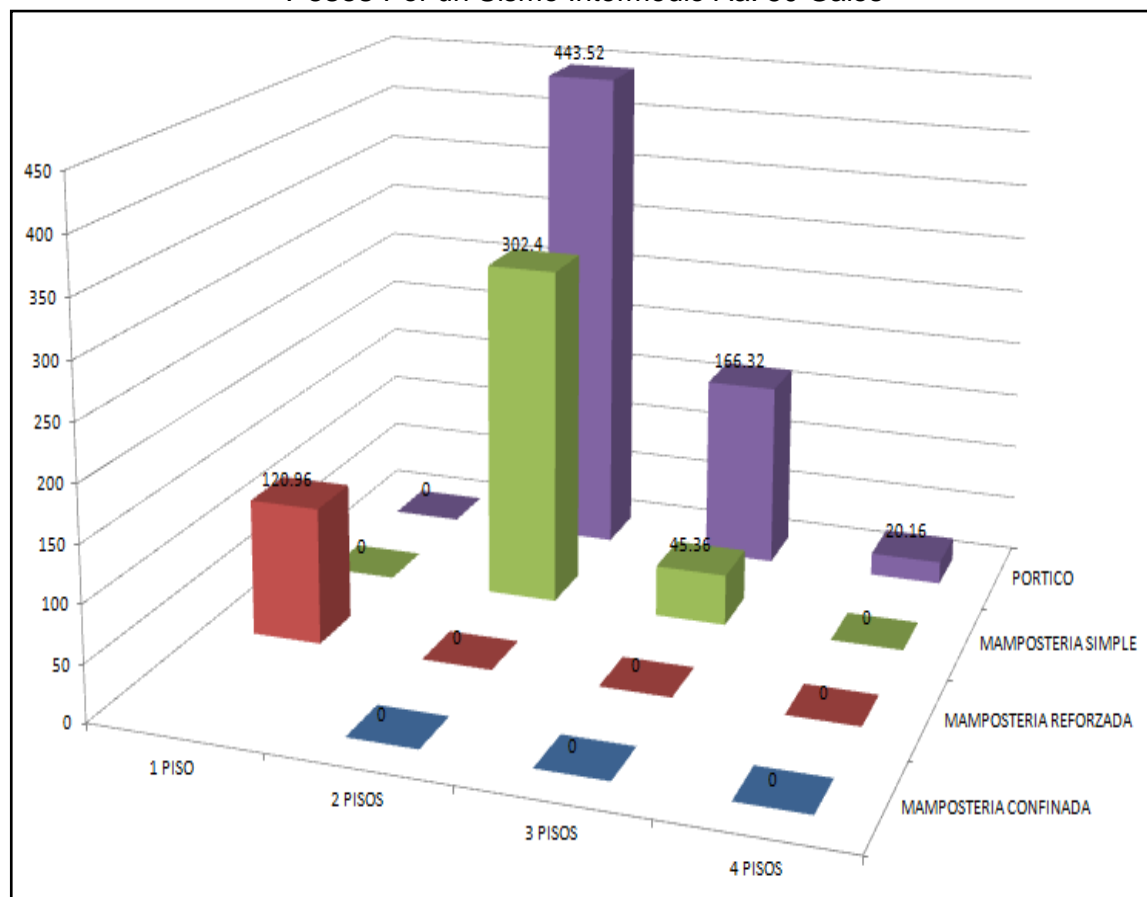
Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 41. Correlación Pérdidas Entre Tipo Estructural y Número de Pisos en Pesos Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 42. Correlación Pérdidas Entre Tipo Estructural y Número de Pisos en Pesos Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Estas graficas nos muestran que las estructuras con mayor número de pérdidas económicas y de m² ante un sismo intermedio con a=50 gales son los pórticos de 2 y 3 pisos, con una participación también significativa las estructuras en mampostería simple de 2 y 3 pisos respectivamente las cuales tienen una menor participación en m² pero con pérdidas considerables.

Tabla 40. Correlación Pérdidas Entre Tipo Estructural y Suelos Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales

	CENIZAS	LLENOS	SUBTOTALES
MAMPOSTERIA CONFINADA	\$ -	\$ -	\$ -
MAMPOSTERIA REFORZADA	\$ 18.685.000	\$ 582.400	\$ 19.267.400
MAMPOSTERIA SIMPLE	\$ 82.838.000	\$ 12.707.000	\$ 95.545.000
PORTICO	\$451.814.000	\$ 22.768.000	\$ 474.582.000
TOTAL			\$ 589.394.400

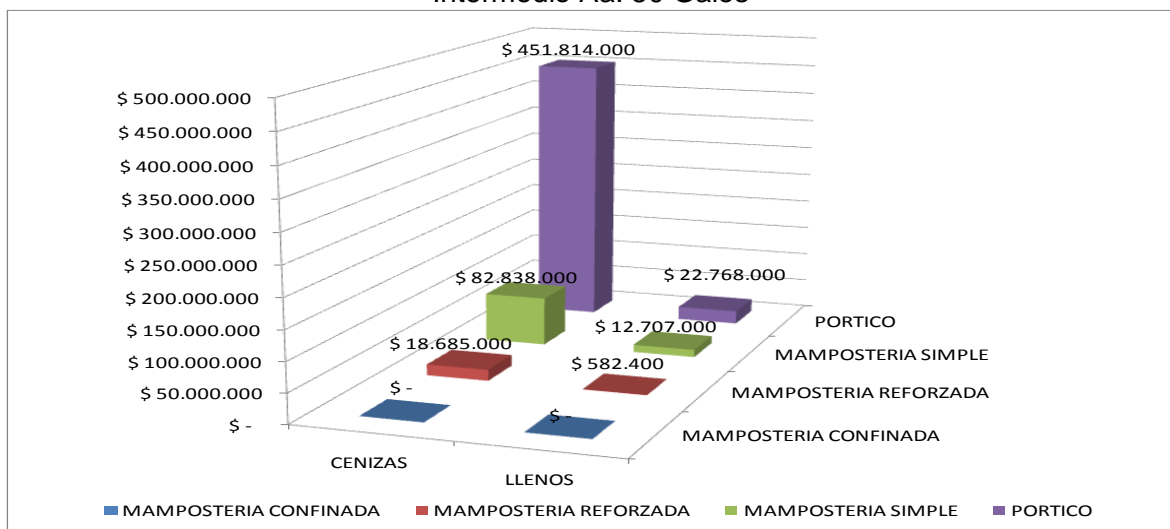
Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Tabla 41. Correlación Entre Tipo Estructural y Número De Pisos En M² Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales

CORELACION ENTRE TIPO ESTRUCTURAL NUMERO DE PISOS EN M2	CENIZAS	LLENOS	SUBTOTALES
MAMPOSTERIA CONFINADA		0	0
MAMPOSTERIA REFORZADA	115.92	5.04	120.96
MAMPOSTERIA SIMPLE	307.44	40.32	347.76
PORTICO	609.84	20.16	630
TOTAL			1098.72

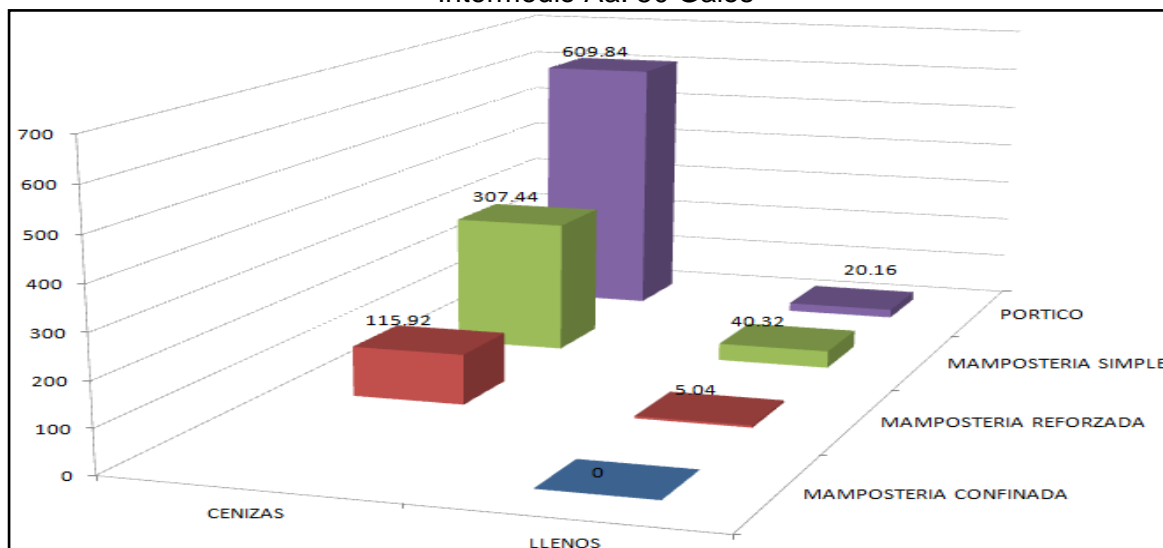
Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 43. Correlación Entre Tipo Estructural y Número De Pisos En Pesos Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 44. Correlación Entre Tipo Estructural y Número De Pisos En M² Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

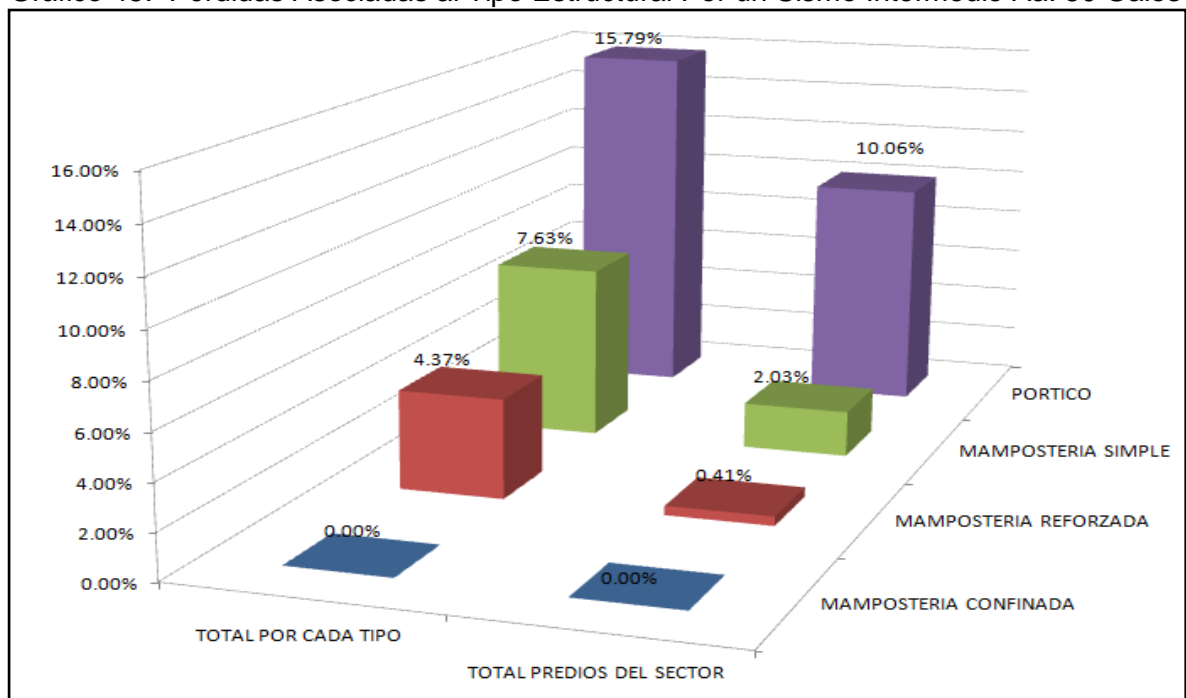
Las estructuras con mayor afectación en cuanto al número de pérdidas económicas y de m^2 ante un sismo intermedio con $a=50$ gales son los pórticos ubicados en suelos constituidos por Cenizas Volcánicas dado su alta participación de m^2 que tiene en el sector, con una participación también significativa las estructuras en mampostería simple las cuales contienen una participación importante en m^2 . En cuanto los m^2 que se encuentran ubicados en suelos constituidos con Llenos se puede observar que estos sufren una mayor afectación estructural y de pérdidas económicas que los que se encuentran ubicados en suelos constituidos por Cenizas ya que las amplificaciones de las ondas sísmicas en los suelos constituidos por llenos son mayores.

Tabla 42. Pérdidas Asociadas al Tipo Estructural Por un Sismo Intermedio A_a : 50 Gales

TIPO DE ESTRUCTURA	TOTAL POR CADA TIPO	TOTAL PREDIOS DEL SECTOR
MAMPOSTERIA CONFINADA	0.00%	0.00%
MAMPOSTERIA REFORZADA	4.37%	0.41%
MAMPOSTERIA SIMPLE	7.63%	2.03%
PORTICO	15.79%	10.06%

Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 45. Pérdidas Asociadas al Tipo Estructural Por un Sismo Intermedio A_a : 50 Gales



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Para estructuras en el sistema estructural Apórticado del 100% de m^2 construidos en este sistema se pierde el 15.79%, estas pérdidas representan el 10.06% sobre las pérdidas totales en m^2 .

Para estructuras en mampostería simple se pierde el 7.63% de m² construidos en este tipo, que representa el 2.03% sobre las pérdidas totales.

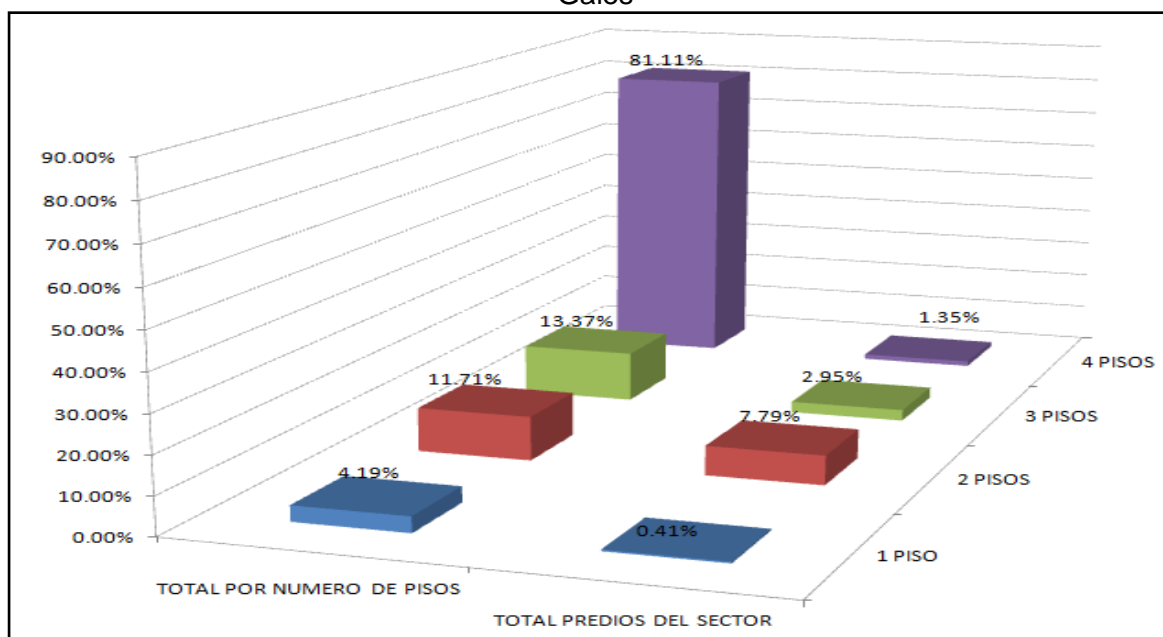
Se puede concluir que las estructuras que mayores pérdidas presentan son los pórticos y mampostería estructural, pues representan casi la totalidad de los m² construidos en estos sistemas son en los que más se presentan las perdidas, siendo más representativa las perdidas en pórtico.

Tabla 43. Pérdidas Asociadas Al Número De Pisos Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales

# DE PISOS	TOTAL POR NUMERO DE PISOS	TOTAL PREDIOS DEL SECTOR
1 PISO	4.19%	0.41%
2 PISOS	11.71%	7.79%
3 PISOS	13.37%	2.95%
4 PISOS	81.11%	1.35%

Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 46. Pérdidas Asociadas Al Número De Pisos Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Podemos observar que las estructuras que mayor índice de perdidas presentan son las de 4 pisos ya que el 81.11% de m² construidos en esta altura se pierden y las pérdidas no estructurales por derivas teniendo en cuenta que justo esta estructura es un pórtico se tiene que las pérdidas son casi totales, pero es poco representativo en cuanto al total de predios del sector ya que apenas representa el 1.35% de los m².

El resto de estructuras también poseen un alto índice de pérdidas en especial las de 2 y 3 pisos con los porcentajes más representativos del 11.71% y el 13.37% m²

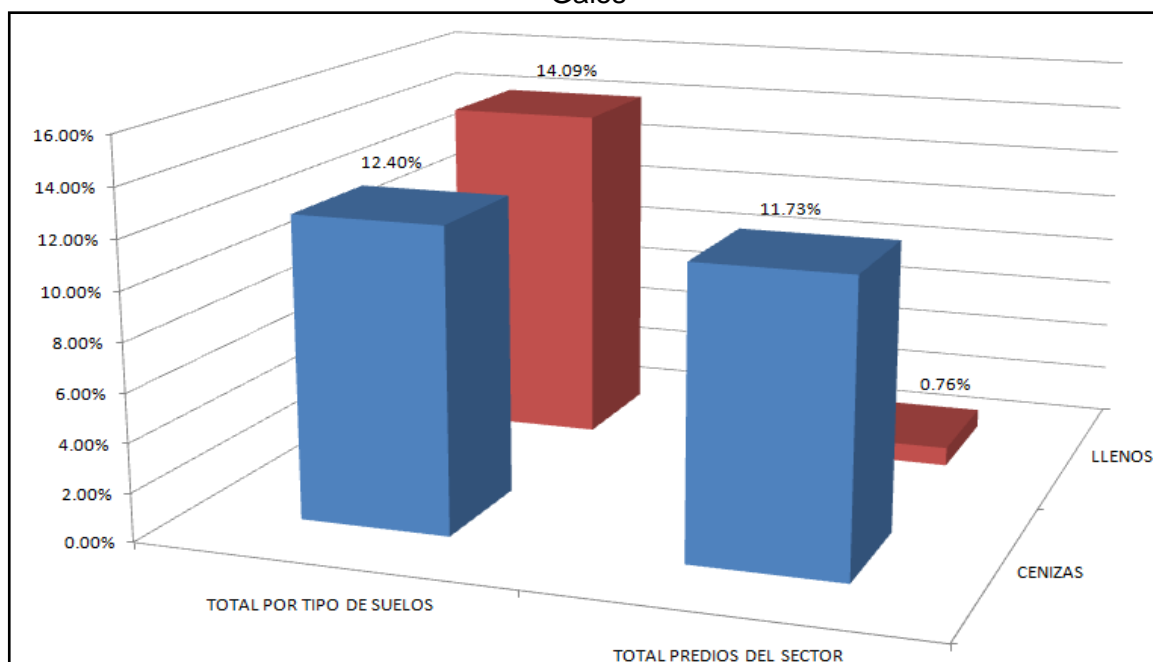
construidos respectivamente, y son las más representativos debido al gran número de predios del sector a los cuales representan con el 7.79% y el 2.95% de las pérdidas totales respectivamente.

Tabla 44. Pérdidas Asociadas Al Tipo De Suelo Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales

SUELOS	TOTAL POR TIPO DE SUELOS	TOTAL PREDIOS DEL SECTOR
CENIZAS	12.40%	11.73%
LLENOS	14.09%	0.76%

Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 47. Pérdidas Asociadas Al Tipo De Suelo Por un Sismo Intermedio Aa: 50 Gales



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Las pérdidas en llenos del 100% de m² construidos sobre este tipo de suelo el 14.09% se pierden. Pero estas pérdidas son poco representativas si observamos que Estas pérdidas son el 0.76% de las pérdidas totales del sector.

Las pérdidas más representativas están en los suelos de Cenizas ya que del 100% de m² construidos sobre este tipo de suelo el 12.40% se pierden, Estas pérdidas representan 11.73% de las pérdidas totales del sector.

RESUMEN DE PÉRDIDAS PRODUCIDAS POR UN SISMO INTERMEDIO CON a: 50 gales

En la eventualidad de la ocurrencia de un sismo a profundidades de 180 Km. Se podría esperar una destrucción aproximada del 12% en el Sector de Quintas De

Panorama 1, lo que representaría una pérdida de 589.394.400 millones de pesos y de 1098 m².

Los mayores porcentajes de pérdidas producidas por este sismo se dan en las estructuras de tipo Aporticadas, construidas después de 1998, de uso residencial y de 2 pisos ubicadas en tipo de suelo Cenizas.

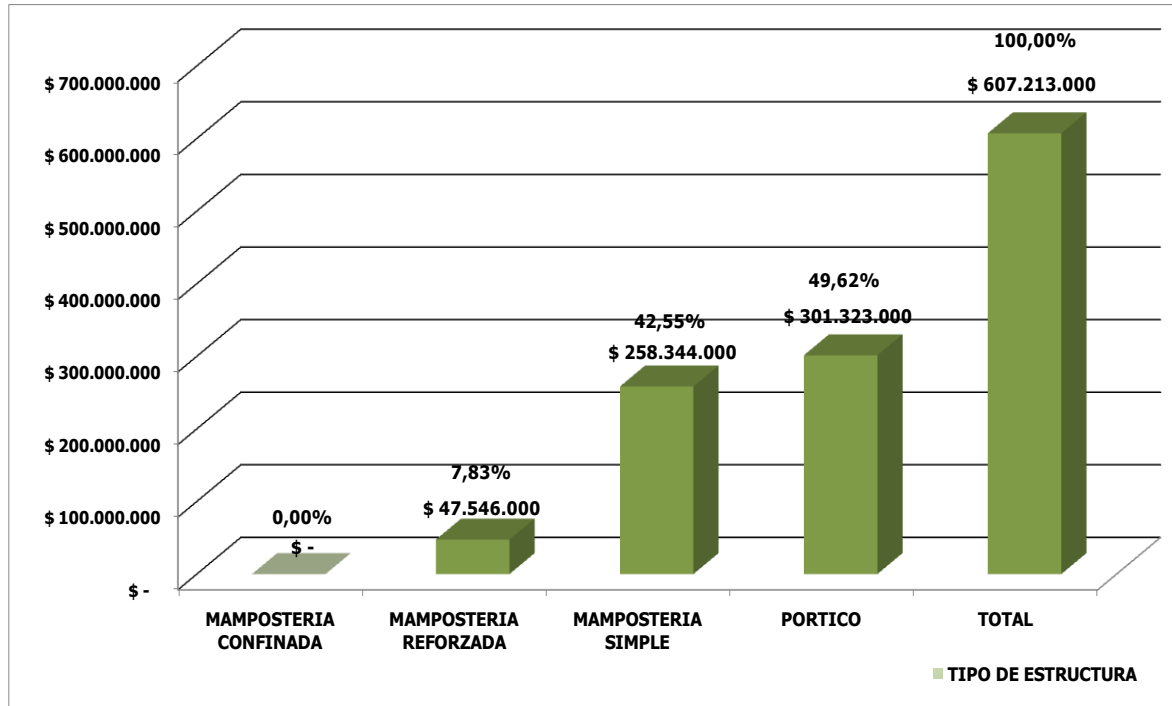
11.5.3 Análisis De Pérdidas Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales

Tabla 45. Análisis de Pérdidas Producidas por Un Sismo Lejano con Aa: 50 Gales

TIPO DE ESTRUCTURA	PÉRDIDAS	% PÉRDIDAS	PÉRDIDAS EN M2	% DE M2
MAMPOSTERIA CONFINADA	\$ -	0.00%	0	0.00%
MAMPOSTERIA REFORZADA	\$47.546.000	7.83%	132.552	11.09%
MAMPOSTERIA SIMPLE	\$258.344.000	42.55%	376.74	31.51%
PORTICO	\$301.323.000	49.62%	686.448	57.41%
TOTAL	\$607.213.000	100.00%	1195.74	100.00%

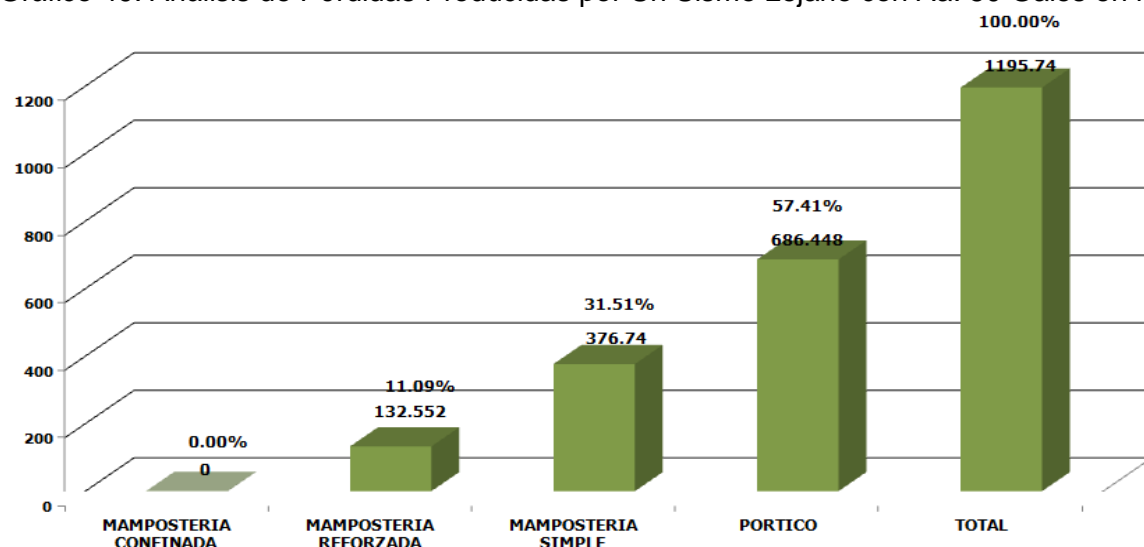
Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 48. Análisis de Pérdidas Producidas por Un Sismo Lejano con Aa: 50 Gales en Pesos



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 49. Análisis de Pérdidas Producidas por Un Sismo Lejano con Aa: 50 Gales en M²



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Considerando la gráfica anterior de pérdidas por tipo de estructura tenemos que el sistema Aporticado tiene mayor presencia en el sector y es el que más pérdidas en cuanto dinero y a m² perdidos representa, la gráfica nos muestra que la pérdida de los pórticos asciende a un costo de \$301.323.000 representando el 49.62% de las pérdidas del sector, y las pérdidas en m² ascienden a 686 m² el cual corresponde al 57.41% de las pérdidas totales, la mayoría de estas pérdidas corresponde a elementos no estructurales ya que este es un sismo que no genera grandes exigencias sobre la estructura. Seguidamente las estructuras en mampostería simple presentan resultados de pérdidas significativos, las pérdidas en pesos asciende a \$258.344.000 de pesos, representando 42.55% de las pérdidas del sector y las pérdidas en m² ascienden a 376.74 constituyendo el 31.51% de las pérdidas totales.

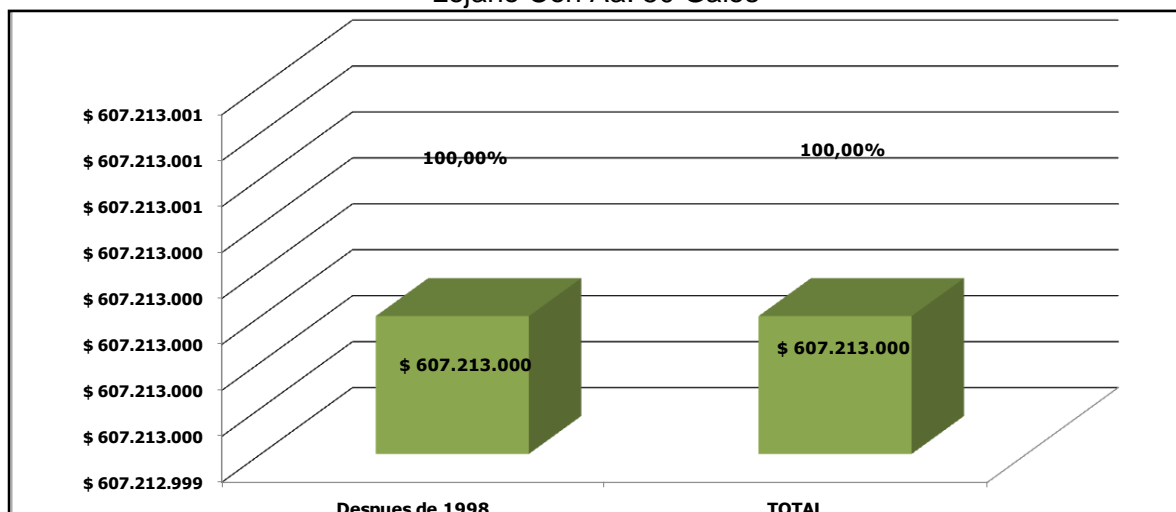
En una comparación de las pérdidas económicas y en m² entre los sismos de intermedio de 50 gales y un sismo lejano se puede decir que de los datos arrojados muestran como las pérdidas de del sismo lejano fueron más significativas que las del sismo intermedio de 50 gales, más notable aun en las de tipo estructural de mampostería simple en las que se observa un mayor daño debido a la intensidad del sismo, los cuales generan daños significativos en los elementos no estructurales hacen ascender las pérdidas económicas y en m²

Tabla 46. Pérdidas Asociadas al Periodo de Construcción, Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales

TIPO DE ESTRUCTURA	PERDIDAS	% PERDIDAS	PERDIDAS EN M2	% DE M2
Después de 1998	\$ 607.213.000	100.00%	100.00%	100.00%
TOTAL	\$ 607.213.000	100.00%	100.00%	100.00%

Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 50. Pérdidas Asociadas al Periodo de Construcción, Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

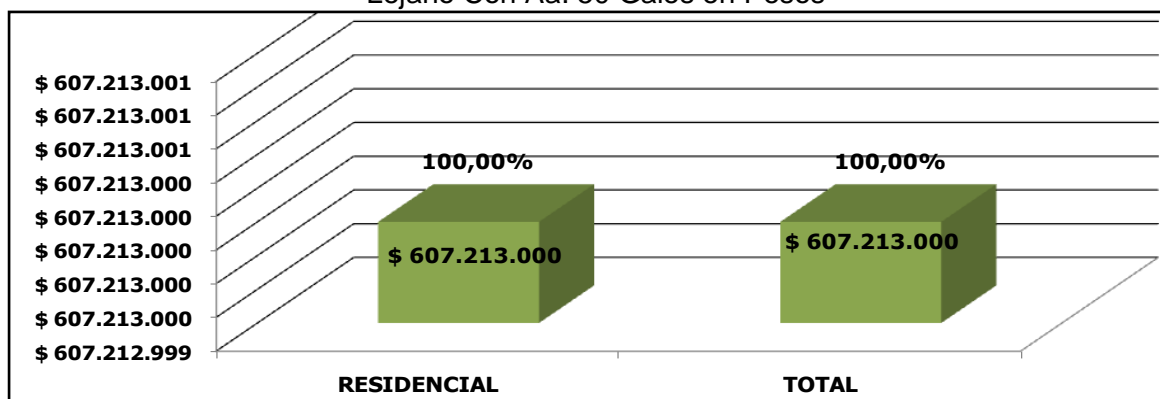
Observando la gráfica de pérdidas por año de construcción tenemos que la totalidad de las perdidas asociadas al periodo de construcción se dan después de 1998. Con un costo de \$607.213.000 equivalente al 100% de las pérdidas del sector en m2.

Tabla 47. Pérdidas Asociadas al Uso, Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales

USO	PERDIDAS	% PERDIDAS	PERDIDAS EN M2	% DE M2
RESIDENCIAL	\$ 607.213.000	100.00%	100.00%	100.00%
TOTAL	\$ 607.213.000	100.00%	100.00%	100.00%

Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 51. Pérdidas Asociadas al Periodo de Construcción, Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales en Pesos



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

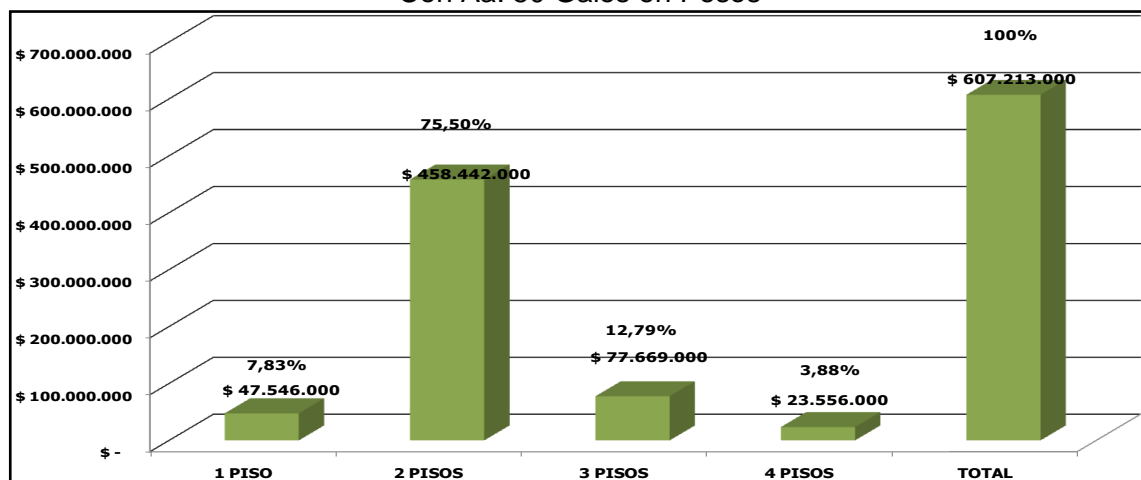
La totalidad de las perdidas asociadas al USO de la construcción corresponde a Residencial.

Tabla 48. Pérdidas Asociadas al Número de Pisos, Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales

# PISOS	PERDIDAS	% PERDIDAS	PERDIDAS EN M2	% DE M2
1 PISO	\$ 47.546.000	7.83%	136.5	11.42%
2 PISOS	\$ 458.442.000	75.50%	808	67.58%
3 PISOS	\$ 77.669.000	12.79%	229.32	19.18%
4 PISOS	\$ 23.556.000	3.88%	21.84	1.83%
TOTAL	\$ 607.213.000	100%	1195.74	100%

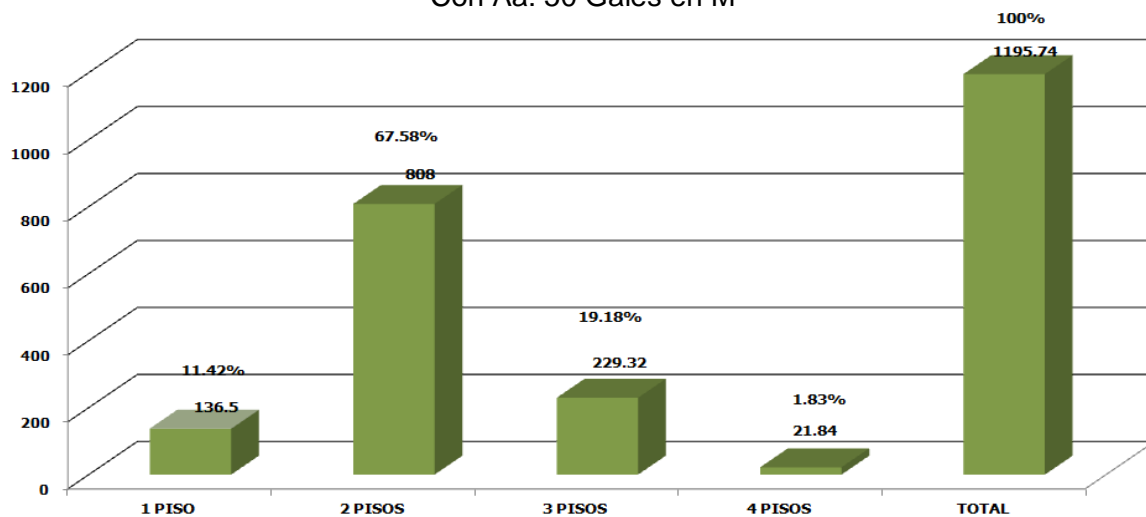
Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 52. Pérdidas Asociadas al Número de Pisos, Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales en Pesos



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 53. Pérdidas Asociadas al Número de Pisos, Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales en M²



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Dado un sismo de campo lejano las edificaciones más afectadas en cuanto al valor de las pérdidas económicas y de m² según el número de pisos son las construcciones con mayor número de pisos en este caso las de 3 y 4 pisos, pero

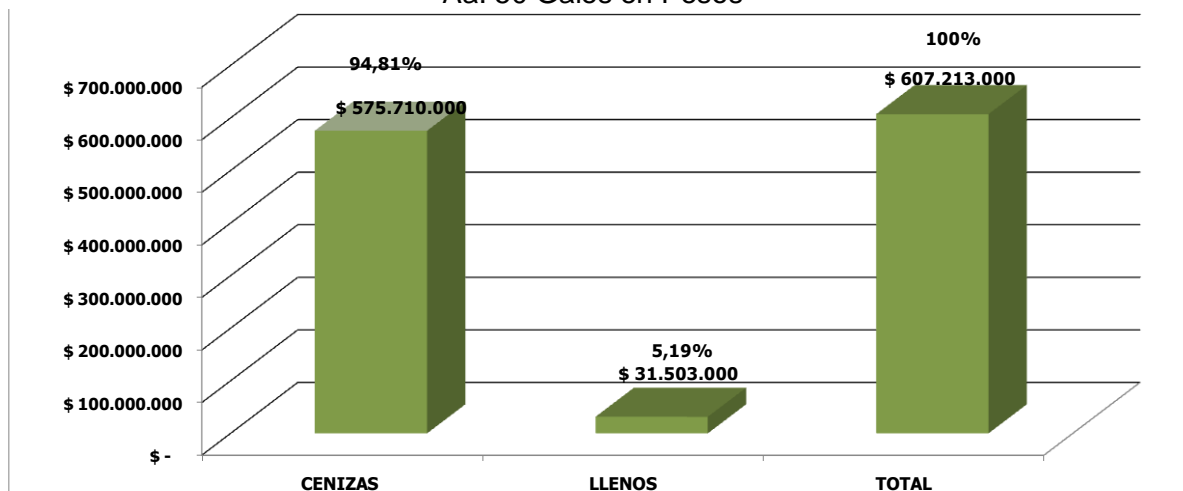
es poco representativo debido al poco número de m² a los que se representa. Las mayores pérdidas se presentan en las edificaciones de 2 pisos dado su gran porcentaje en m². Las pérdidas ascienden a un total de \$458.442.000 cuyo porcentaje sobre la pérdida total es de 75.50% de y a 800 m² que representan el 67.58% de las pérdidas totales por m².

Tabla 49. Pérdidas Asociadas al Tipo de Suelos Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales

PERDIDAS	% PERDIDAS	TIPOS DE SUELOS	PERDIDAS EN M2	% DE M2
\$ 575.710.000	94.81%	CENIZAS	1124.76	94.06%
\$ 31.503.000	5.19%	LLENOS	70.98	5.94%
\$ 607.213.000	100%	TOTAL	1195.74	100%

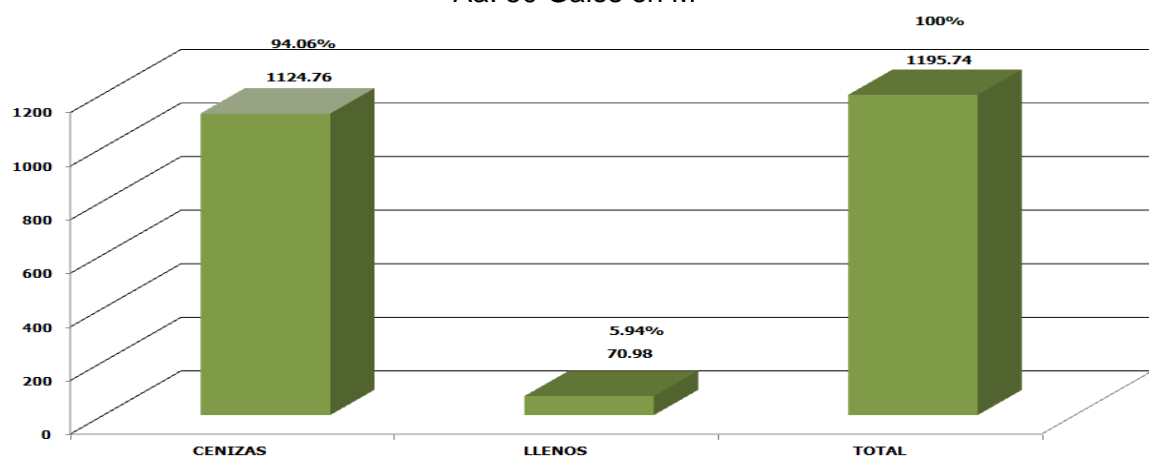
Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 54. Pérdidas Asociadas al Tipo de Suelos Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales en Pesos



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A.

Gráfico 55. Pérdidas Asociadas al Tipo de Suelos Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales en M²



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A

Al observar los resultados obtenidos el tipo de suelo en el que se presentan las mayores pérdidas es en el de Cenizas con un total de pérdidas económicas de \$575.710.000 que representan el 94.81% del total y de 1124 m² que representan el 94.06% de las pérdidas totales en m².

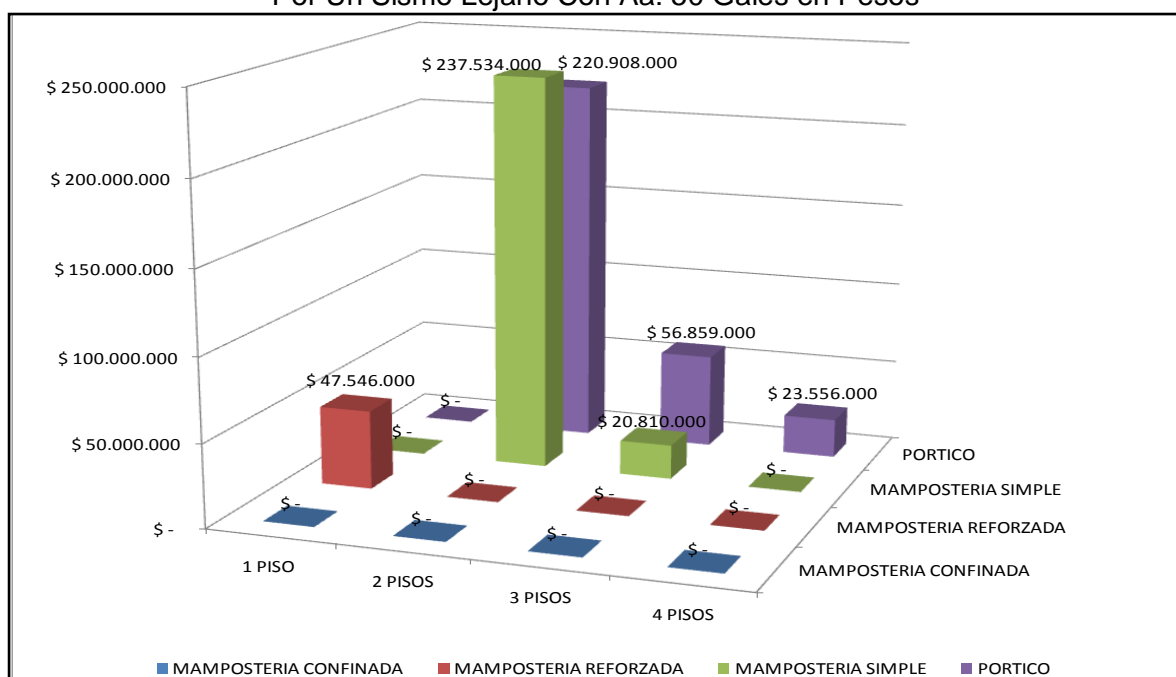
Tabla 50. Correlación Pérdidas Entre Tipo Estructural y Número de Pisos, Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales

CORELACION PERDIDAS ENTRE TIPO ESTRUCTURAL Y NUMERO DE PISOS	1 PISO	2 PISOS	3 PISOS	4 PISOS	SUBTOTALES
MAMPOSTERIA CONFINADA	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
MAMPOSTERIA REFORZADA	\$ 47.546.000	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 47.546.000
MAMPOSTERIA SIMPLE	\$ -	\$ 237.534.000	\$ 20.810.000	\$ -	\$ 258.344.000
PORTICO	\$ -	\$ 220.908.000	\$ 56.859.000	\$ 23.556.000	\$ 301.323.000
TOTAL					\$ 607.213.000

CORELACION ENTRE TIPO ESTRUCTURAL Y NUMERO DE PISOS EN M2	1 PISO	2 PISOS	3 PISOS	4 PISOS	SUBTOTALES
MAMPOSTERIA CONFINADA	0	0	0	0	0
MAMPOSTERIA REFORZADA	131,04	0	0	0	131,04
MAMPOSTERIA SIMPLE	0	327,9276	49,14	0	377,0676
PORTICO	0	482,176464	182,952	22,512	687,640464
TOTAL					1195,75

Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A

Gráfico 56. Correlación Pérdidas Entre Tipo Estructural y Número de Pisos, Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales en Pesos

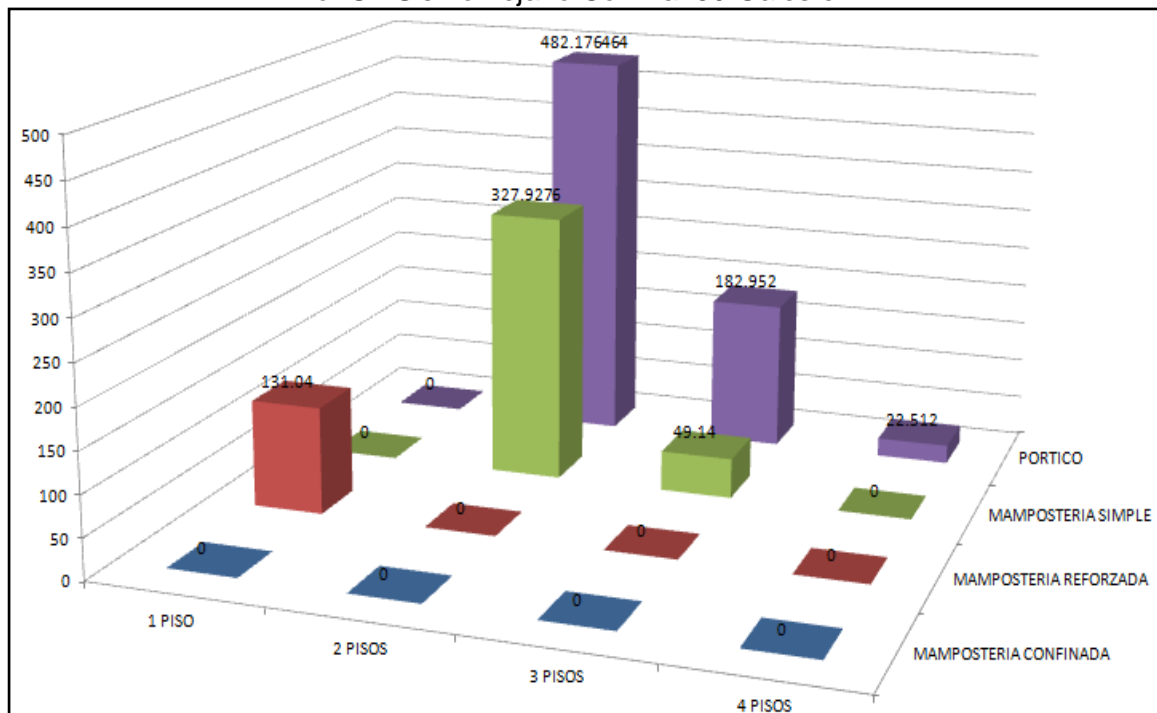


Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A

En la correlación anterior se observa que las pérdidas económicas y en m^2 de mampostería simple hubo un aumento significativo y en las viviendas de dos pisos la cual supero las pérdidas de los pórticos. Este caso se da a que gracias a que la profundidad y la distancia en la cual se origino el sismo lo hacen de menor intensidad, lo que genera que las estructuras aporticadas tengan una mejor funcionalidad estructural, sus derivas y desplazamientos no sean tan significativos como para causar grandes daños a la estructura y a los elementos no estructurales.

Caso contrario pasa con las estructuras de la mampostería simple, las cuales sus elementos no estructurales son los que constituyen la estructura como tal, ocasionando que ante un sismo así sea de menor magnitud genere daños significativos en pérdidas económicas.

Gráfico 57. Correlación Pérdidas Entre Tipo Estructural y Número de Pisos, Producidas Por Un Sismo Lejano Con A_a : 50 Gales en M^2



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A

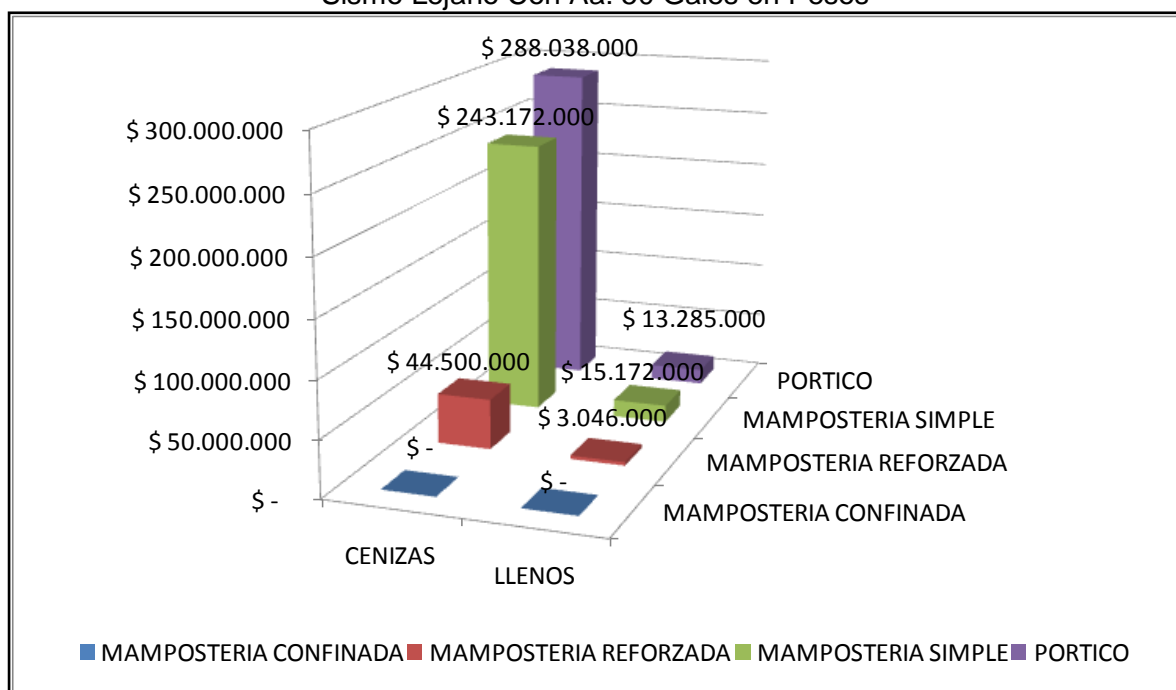
Estas graficas nos muestran que las estructuras con mayor número de pérdidas económicas y considerable en m^2 ante un sismo Lejano son los de tipo Mampostería Simple de 2 pisos, esto debido las pérdidas significativas de los elementos no estructurales ocasionadas por este tipo de sismo. Las pérdidas en m^2 más considerables se dieron en los Pórticos debido a su mayor participación en el sector.

Tabla 51. Correlación Pérdidas Entre Tipo Estructural y Suelos, Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales

CORELACION PERDIDAS ENTRE TIPO ESTRUCTURAL Y SUELOS	CENIZAS	LLENOS	SUBTOTALES
MAMPOSTERIA CONFINADA	\$ -	\$ -	\$ -
MAMPOSTERIA REFORZADA	\$ 44.500.000	\$ 3.046.000	\$ 47.546.000
MAMPOSTERIA SIMPLE	\$ 243.172.000	\$ 15.172.000	\$ 258.344.000
PORTICO	\$ 288.038.000	\$ 13.285.000	\$ 301.323.000
TOTAL			\$ 607.213.000
CORELACION ENTRE TIPO ESTRUCTURAL Y NUMERO DE PISOS EN M2	CENIZAS	LLENOS	SUBTOTALES
MAMPOSTERIA CONFINADA	0	0	0
MAMPOSTERIA REFORZADA	125.58	5.46	131.04
MAMPOSTERIA SIMPLE	333.47	45.36	378.83
PORTICO	663.20	22.68	685.88
TOTAL			1195.75

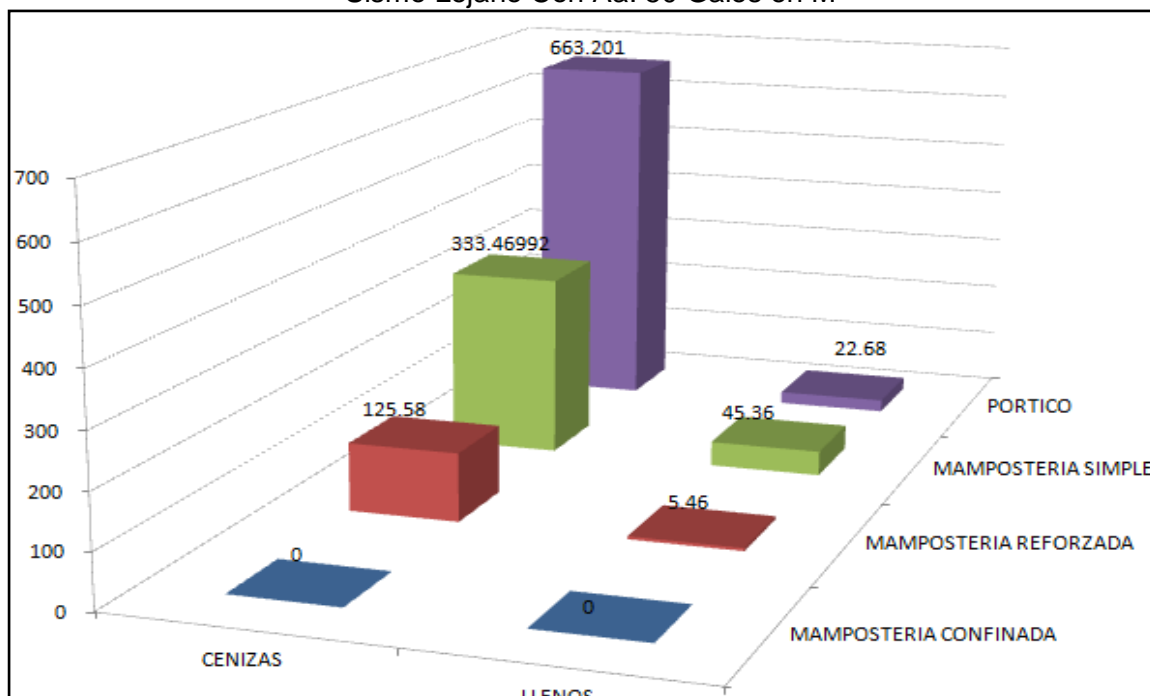
Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A

Gráfico 58. Correlación Pérdidas Entre Tipo Estructural y Suelos, Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales en Pesos



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A

Gráfico 59. Correlación Pérdidas Entre Tipo Estructural y Suelos, Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales en M²



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A

Las mayores pérdidas de esta correlación se presentan en los pórticos ubicados en el tipo de suelo Cenizas Volcánicas, debido a la proporción que representan las viviendas ubicadas sobre este tipo de suelo.

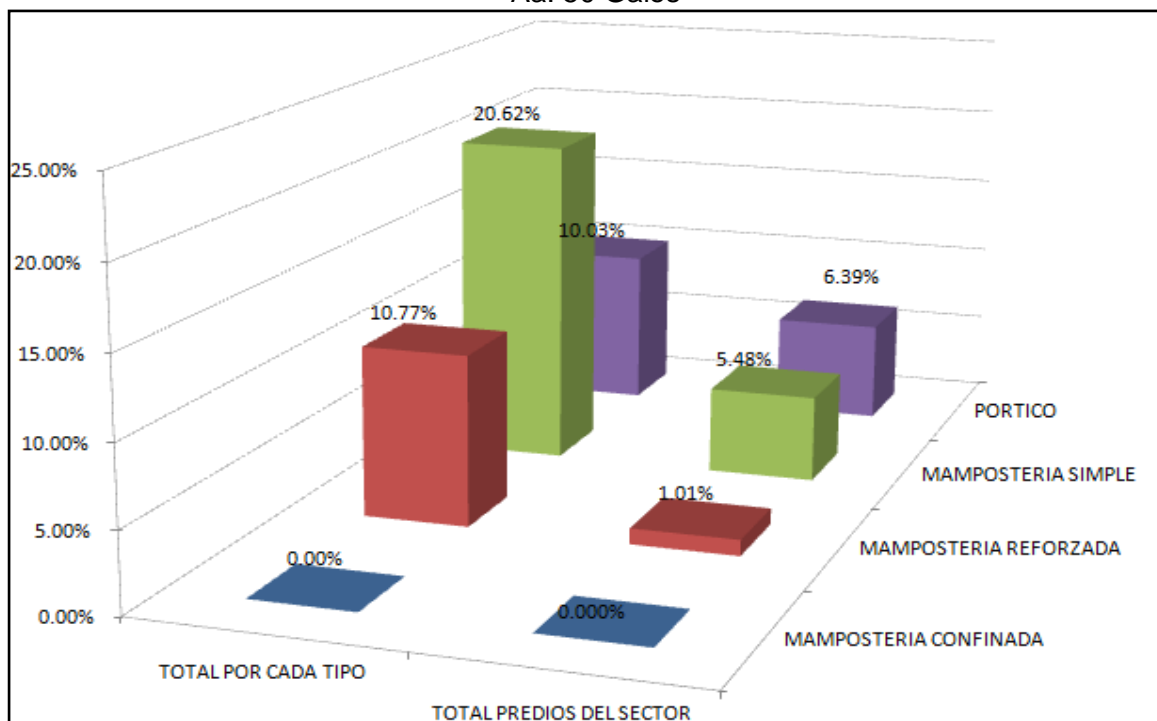
Y Las viviendas que mayor afectación sufren son las ubicadas sobre el tipo de suelo de llenos, debido a la gran amplificación que presentan estos suelos, pero es poco representativo ya que su proporción es baja comparado con las ubicadas en el tipo de suelo de Cenizas.

Tabla 52. Pérdidas Asociadas al Tipo Estructural Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales

TIPO DE ESTRUCTURA	TOTAL POR CADA TIPO	TOTAL PREDIOS DEL SECTOR
MAMPOSTERIA CONFINADA	0.00%	0.000%
MAMPOSTERIA REFORZADA	10.77%	1.01%
MAMPOSTERIA SIMPLE	20.62%	5.48%
PORTICO	10.03%	6.39%

Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A

Gráfico 60. Pérdidas Asociadas al Tipo Estructural Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A

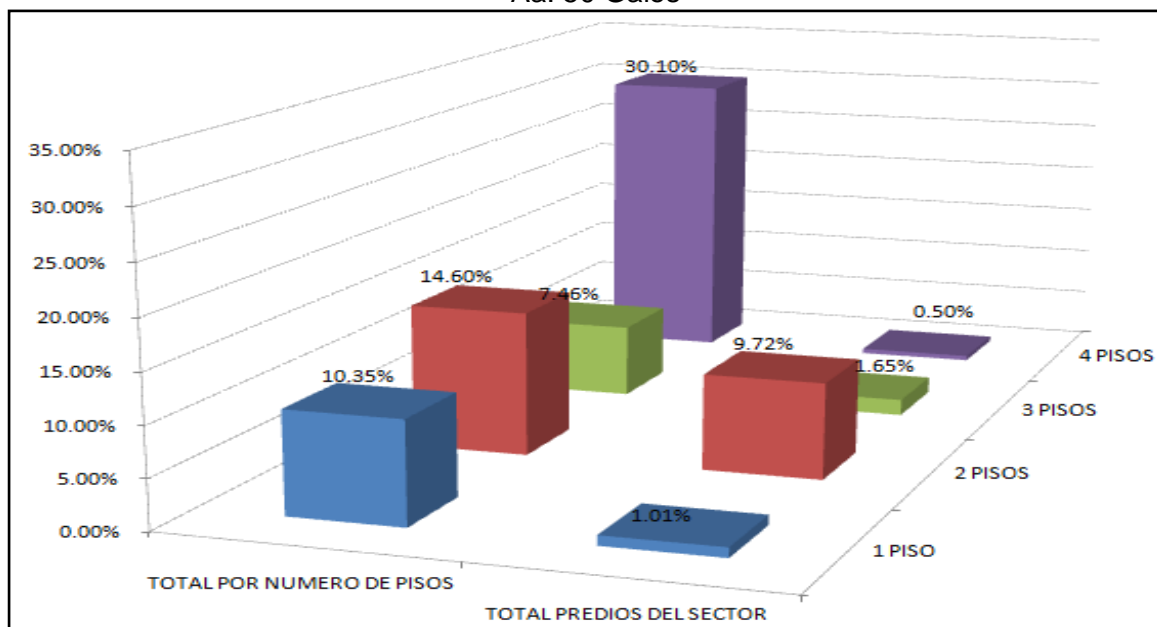
Para estructuras en mampostería Simple del 100% de m^2 construidos en este sistema se pierde el 20.62%, lo que genera ser las perdidas representativas ya que estas pérdidas representan el 5.48% sobre las totales en m^2 . Seguidas por las pérdidas más representativas, el sistema de pórticos de concreto ya que representan el 6.39% de las pérdidas totales (12.9%).

Tabla 53. Pérdidas Asociadas al Número de Pisos Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales

# DE PISOS	TOTAL POR NUMERO DE PISOS	TOTAL PREDIOS DEL SECTOR
1 PISO	10.35%	1.01%
2 PISOS	14.60%	9.72%
3 PISOS	7.46%	1.65%
4 PISOS	30.10%	0.50%

Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A

Gráfico 61. Pérdidas Asociadas al Número de Pisos Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A

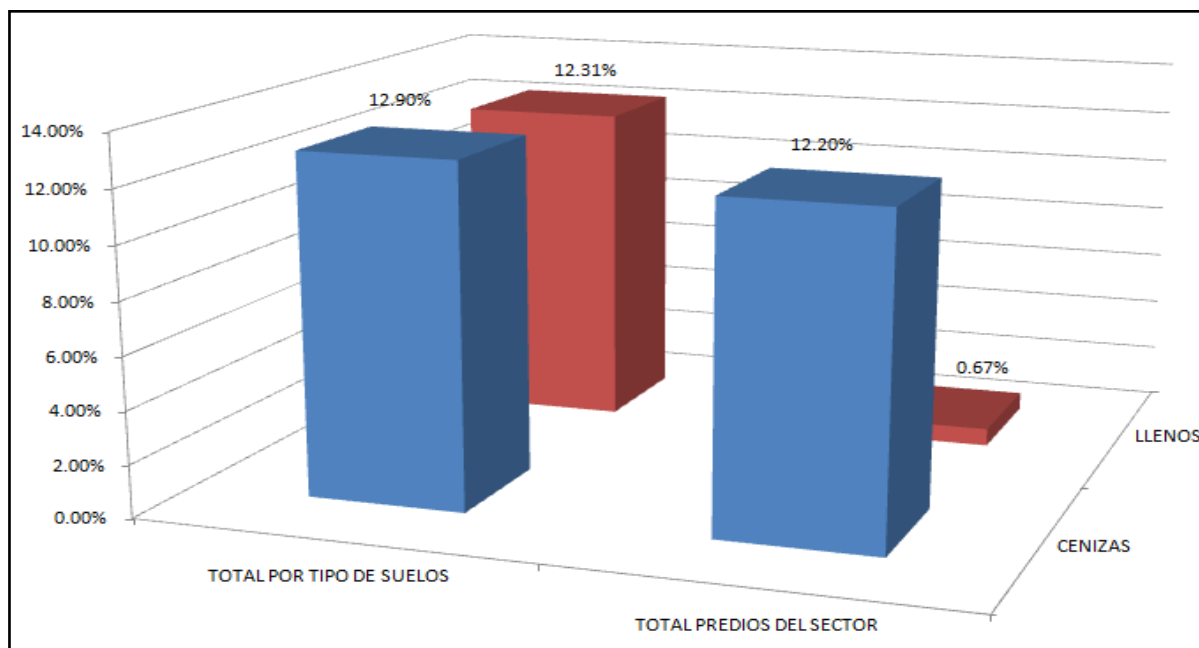
Podemos observar que las estructuras que mayor índice de perdidas presentan son las de 4 pisos, pero es poco representativo debido a que solo representa el 0.5% del total de predios del sector. Se observa que las pérdidas más representativas son las estructuras de 2 pisos con un porcentaje perdido del 14.6%, y representa el 9.72% de las pérdidas totales del sector (12.9%).

Tabla 54. Pérdidas Asociadas al Tipo de Suelos Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales

SUELOS	TOTAL POR TIPO DE SUELOS	TOTAL PREDIOS DEL SECTOR
CENIZAS	12.90%	12.20%
LLENOS	12.31%	0.67%

Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A

Gráfico 62. Pérdidas Asociadas al Tipo de Suelos Producidas Por Un Sismo Lejano Con Aa: 50 Gales



Fuente: GONZALEZ CASTAÑEDA JAROL A

Las pérdidas más representativas están en Cenizas ya que del 100% de m² construidos sobre este tipo de suelo el 12.90% se pierden. Estas pérdidas son el 12.2% de las pérdidas totales del sector (12.9%).

12. CONCLUSIONES

Las estructuras que más sufrieron daños observando los resultados del estudio fueron las estructuras de pórtico, debido a su gran presencia en el sector, las cuales constituyen el 57% del total de m² del total de las sector y 49% del total de las viviendas, por esta razón representa en las simulaciones de sismos cercano con Aa 280 gales, sismo intermedio con Aa 180 gales, sismo intermedio con Aa 50 gales y sismo lejano con Aa 50 gales, la mayor cantidad de pérdidas económicas y en m².

Las estructuras en mampostería reforzada representan el 10.96% en m² y el 21% del total de las viviendas de 1 piso lo cual genera que las pérdidas en m² no sean mayores y que su configuración geométrica rectangular de área sea benéfica para tener una menor amenaza frente a un sismo determinado.

La mampostería simple representa 31.51% en m² y el 29% de total de las edificaciones con pérdidas significativas e inferior a las estructuras aporticadas tanto económicas como en m² y se observa una mayor cantidad de perdidas en proporción a los diferentes tipos estructurales en sismos de menor intensidad ya que los elementos no estructurales son los que constituyen la estructura como tal, ocasionando que ante un sismo así sea de menor magnitud genere daños significativos en pérdidas económicas

Cabe referenciar que en la totalidad de las ampliaciones o modificaciones hechas a través del tiempo de las viviendas del barrio quintas de panorama 1 fueron hechas sin ninguna accesoria profesional correspondiente que llevara a cabo el cumplimiento de la norma de sismo resistencia correspondiente y solicitar las licencias de construcción correspondiente ante las curadurías urbanas No 1 y curaduría urbana No 2 como consta en el documento elaborado por la universidad libre seccional Pereira, faculta de ingenierías. Para realizar la solicitud correspondiente ante la curaduría urbana No 1 y curaduría urbana No 2 de las licencias de construcción aprobadas en el sector de quintas de panorama 1.

El sector cuenta con características positivas para darle favorabilidad estructural ante un sismo como son:

1. El sector no cuenta con una alta densidad en sus construcciones ya que la gran mayoría de sus edificaciones son de baja altura y están representadas así: de 1 piso con un 22% del total de las construcciones, de 2 pisos con el 65%, de 3 pisos con el 12% y de 4 pisos con el 1%. De lo anterior se puede decir que las viviendas del sector son de baja altura.
2. El 100% de las viviendas del sector tienen un uso residencial por lo tanto las estructuras no requieren un diseño estructural más riguroso en cuanto a

exigencias que si pudiese tener los demás usos con respecto a sus cargas vivas y cargas muertas.

En el sector predominan los suelos constituidos por cenizas volcánicas, con un porcentaje de viviendas construidas sobre este tipo de suelo del 93,86%, con un área construida de 8652 m² que representa el 94,06% m² construidos del sector, de lo cual hace tenga una mejor favorabilidad que si estuviera en un suelo de llenos donde se cuenta con una mayor amplificación de la onda sísmica, lo cual genera que las estructuras reciban una mayor aceleración y que se genere una mayor destrucción, ocasionando mayor número de pérdidas económicas y de m² construidos. Las estructuras de tipo estructural Pórtico son las que más predominan en el sector con un porcentaje del 49% del total de las viviendas y de los cuales 5082 de los m² que están construido sobre este tipo de suelo, de lo cual por los resultados arrojados se puede decir que el suelo y el tipo estructural que más pérdidas económicas y de m² se obtuvieron gracias a su gran proporción fueron los suelos constituidos por cenizas y las estructuras a porticadas. Es de resaltar que en los sismo de mayor magnitud como en los simulados en el programa percal Millenium (Cercano e Intermedio 180 gales), fueron los sismos donde mayores pérdidas se obtuvieron, debido en gran parte a la flexibilidad que tiene este tipo de estructura permitiéndole tener una mayor deriva, la cual le causa daños en su gran mayoría en pérdidas no estructurales y estructurales. Por otra parte en los sismos de menor magnitud (Intermedio 50 Gales y Lejano) se observa en los resultados y graficas que las estructuras con mayor afectación son las de mampostería simple ya sus elementos en conjunto trabajan estructuralmente de una forma inadecuada lo que hace que se tenga una mayor vulnerabilidad, generando una mayor presencia de perdidas estructurales y no estructurales en relación con los otros tipos estructurales.

En una gran proporción todas las viviendas del sector de 1 piso cumplen con la normatividad de construcción inicial con las que fueron entregadas, pero las ampliaciones o modificaciones posteriores no cuentan con una accesoria profesional adecuada, y sin ninguna normatividad, ni tampoco se cuenta con las licencias de construcción correspondientes, lo que hace más vulnerable estas viviendas en especial las de 2, 3, 4 pisos respectivamente, al momento de presentarse un sismo.

En los suelos constituidos por llenos, se tiene por los resultados arrojados por el estudio que son los de mayor afectación en cuanto a pérdidas económicas y de m² se generan ante la presencia de un sismo y eso se debe a la amplificación de la onda sísmica que se genera durante un sismo. Comparado en proporción con el total de los m² construidos, de las viviendas del sector y las pérdidas económicas es poco representativo, pero no deja de ser preocupante, ya que en las visitas que se realizaron al sector se observa que en la mayoría de las viviendas ubicadas en este tipo de suelo se presenta fisuramiento en las estructuras síntomas de decencia o desplazamiento del terreno.

Las estructuras de mayor número de pérdidas presenta son las de 2 pisos debido a la gran participación que se tiene en el sector, pero es de referenciar las estructuras que las estructuras que mayor daño sufren son las de 3 y 4 pisos que aunque sus pérdidas son poco representativas ya que en su gran mayoría son pórticos los cuales presentan un alto índice de daño debido a que sus elementos no estructurales no responden adecuadamente ante las deformaciones y derivas que presenta el sistema estructural a porticado lo que genera que los daños sufridos por este sean alto.

En las estructuras de mampostería reforzada se tiene que son las estructuras en su mayoría de 1 piso que fueron entregadas inicialmente por la entidad contratante de FORED y que no han sufrido ampliaciones o modificaciones significativas a través del tiempo, las cuales fueron construidas después de 1998 y que por ende fueron construidas con las licencias respectivas y un diseño estructural profesional, por lo tanto no representa una mayor preocupación para el sector, aunque cabe anotar que en las visitas realizadas en el sector algunas de las viviendas fueron modificadas en algunos muros para ampliaciones internas de las viviendas lo que pudiese causar una alteración estructural significativa teniendo en cuenta que son muros vaciados en concreto reforzado de lo cual trabaja de una forma estructural en conjunto y que por lo cual puede generar una mayor vulnerabilidad.

Si se llegara a presentar un sismo cercano superficial con una aceleración máxima en roca de 0.28g en una de las fallas locales (a una distancia epicentral entre 5 y 20 Km.) se podría esperar una destrucción aproximada del 62% en el sector de quintas de panorama 1 lo que representaría una pérdida de 2.919.472.800 millones de pesos y de 5702,76 m².

En la eventualidad de la ocurrencia de un sismo como los que se presentan en la zona de Benioff a profundidades entre 80 y 150 Km. con una aceleración máxima en roca de 0.18g, se podría esperar una destrucción aproximada del 35% en el sector de quintas de panorama 1 lo que representaría una pérdida de 1.660.388.300 millones de Pesos y de 3219,3 m².

En la eventualidad de la ocurrencia de un sismo como los que se presentan en la zona de Benioff a profundidades entre 80 y 150 Km. con una aceleración máxima en roca de 0.05g, se podría esperar una destrucción del 12% en el sector de quintas de panorama 1 lo que representaría una pérdida de 589.394.400 millones de pesos y de 1098,72 m².

Si se llegara a presentar un sismo en la zona de subducción a una distancia de 180 Km. en línea recta hasta la zona de estudio, se podría esperar una destrucción aproximada del 13% en el sector de quintas de panorama 1 lo que representaría una pérdida de 607.213.000 millones de Pesos y de 1195,75 m².

13. RECOMENDACIONES

Realizar una reforzamiento en las viviendas de 2, 3 y 4 pisos ya que estas estructuras son las más susceptibles a una mayor afectación en sismos cercano Aa 280 Gales, cercano Aa 180, medio 50 Aa Gales, lejano con Aa Gales.

Solicitar ante los organismos correspondientes en prevención de desastres un plan de emergencia para capacitar a los habitantes del barrio quintas de panorama 1 y de esta manera preparar a la comunidad ante un posible sismo de pequeña, mediana o gran magnitud.

Realizar campañas de concientización sobre la importancia de seguir las normas de construcción, recomendaciones del “manual del constructor” entregado por la entidad contratada y la solicitud de las respectivas licencias locales, de igual manera sobre la condición de vulnerabilidad en las viviendas del barrio quintas de panorama 1 ante un posible sismo y de esta manera disminuir las pérdidas en futuras ampliaciones.

Plantear la posibilidad al gobierno local en viviendas de interés social ubicadas en zonas en condiciones específicas de vulnerabilidad la entrega total de cada una de las viviendas y de esta manera evitar la construcción sin las normas adecuadas de sismo resistencia.

Solicitar al gobierno local una mayor vigilancia por parte de la oficina de control físico en las construcciones sin las licencias correspondientes de construcción y de esta manera evitar futuras pérdidas tanto materiales como humanas.

Explorar la posibilidad de generar subsidios a estratos de 1 y 2 para el trámite de licencias de construcción incentivando ampliaciones con las normas adecuadas de construcción.

Realizar un proyecto de colaboración conjunta Gobierno local y universidades para que los estudiantes de último semestre de carreras afines a la construcción presten un servicio social de acompañamiento y asesoría a los propietarios de estratos, 1, 2 y 3 interesados en ampliar sus viviendas con la elaboración de planos.

BIBLIOGRAFIA

AGUDELO, J. UPEGUI, F. (2004) Evaluación Del Riesgo Sísmico Para La Zona Centro De La Ciudad De Armenia (Quindío). Universidad del Quindío.

AGUIAR, Roberto; BARBAT, Alex; CAICEDO, Cesar; CANAS, José. Vulnerabilidad Sísmica de Edificios. Monografías de Ingeniería Sísmica. Barcelona: CIMNE (Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería), 1994. Según <http://www.ineter.gob.ni/geofisica/sis/vulne/cali/6.5-funciones.htm>

AIS (ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA), LA RED (La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina). (2001). "Manual de Construcción, Evaluación y Rehabilitación Sismo Resistente de Viviendas de Mampostería".

AIS (ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA). (1997). Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98. Ley 400 de 1997. Bogota D.C.

ALCALDIA DE ARMENIA, SOCIEDAD DE INGENIEROS DEL QUINDIO (SIQ). (2003). "Guía para el Diligenciamiento del Formulario para evaluación Estructural Ver. 2.0". Comité Local de prevención y atención de Desastres (CLOPAD). Armenia.

ALCAZAR, E.F., HENAO, N., RUIZ, R.E. (1993). "Evaluación del Escenario de Perdidas en Caso de Terremoto para la Ciudad de Armenia". Trabajo de Grado (Ingeniería Civil). Programa de Ingeniería Civil. Universidad del Quindío. Armenia.

ALVAREZ, A. (1987). "Contribución al Conocimiento de la Sismicidad Histórica en Colombia". Tesis de Magister, Universidad de los Andes, Fac. Ing. Civil, Mic-86 - II-01, p.194, 296p., Bogotá, inédito.

ARBELAEZ, J., DIAZ, R., VELEZ, A. (1997). "Determinación de la Influencia de la Aceleración Basal Resistente y el Periodo Estructural de las Construcciones en el Escenario de Perdidas por Sismo. Caso: Pereira, Desquebradas y Santa Rosa de Cabal". Trabajo de Grado (Ingeniería Civil). Programa de Ingeniería Civil. Universidad del Quindío. Armenia

ARISTIZABAL. R.D., et. al., 1.993. "Macrosísmica del Departamento del Quindío." Proyecto de Grado (Ingeniería Civil). Universidad del Quindío.

BALIKIE, Pierset al. Vulnerabilidad, el entorno social, político y económico de los desastres. Colombia, 1996, p 45. Traducción de tercer mundo editores. Publicado por la Red.

BARBAT, A.H. (1998) "El Riesgo Sísmico en el Diseño de Edificios". Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona.

BETBEDER-MATIBER, J. (1995). "Attenuation Laws in the nearfield. Proceeding of the Fifth International conference on Seismic Zonation". Nice, 949 – 956p.

CAMPOS, A., et al. (2000). "Proyecto para la Mitigación del Riesgo Sísmico para Pereira, Dosquebradas Santa Rosa de Cabal". CARDER. Pereira.

CANO L, (1994) Sistema de Información Sísmica – SIS., Proyecto de Grado Ingeniería Civil, Universidad del Quindío, Armenia,

CARDONA, O.D. (2001). "Estimación Holística del Riesgo Sísmico Utilizando Sistemas dinámicos Complejos". Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona.

CHAVARRIA, D. Gómez, D. Estudio Piloto de Vulnerabilidad Sísmica en Viviendas de 1 y 2 Pisos del Barrio Cuarto de Legua en el Cono de Cañaveralejo. Cali. <http://www.ineter.gob.ni/geofisica/sis/vulne/cali/>

CORREA, N. NARVAEZ, L. (2000). "El papel de la degradación ambiental en la construcción histórica del riesgo sísmico en la cuenca de la quebrada Egoyá un análisis de la vulnerabilidad sísmica social". CARDER. Pereira.

CRQ, SIQ. (2004). "Patrones de Daño y Perdidas para el Sismo del 25 de Enero de 1999". Armenia

DER KIUREGHIAN, A. and ANG, H-S, A., (1.975). "A line source model for seismic risk analysis". Illinois University.

DER KIUREGHIAN, A. and ANG, H-S, A., (1.977). "A Fault rupture model for seismic risk analysis". Illinois University.

EAFIT. (1994). "Estudio de la Amenaza, Zonificación, Análisis y Vulnerabilidad Sísmica para Medellín". Proyecto para el PNUD. Medellín.

ESPINOSA, A. (1994). "Sismicidad histórica de Santa Fe de Bogotá y su área, 1500-1994". INGEOMINAS, Cali, 39 p., inédito.

ESPINOSA, A., (1996b). "Sismicidad histórica del área Pereira-Dos Quebradas-Santa Rosa de Cabal. Informe final sismicidad histórica", Proyecto de Mitigación de Riesgo Sísmico de Pereira - Dos Quebradas y Santa Rosa de Cabal. CARDER, Pereira, 40 p. inédito.

GALVAN M., (2002). Nuevo Algoritmo para la Asignación de Sismos en los Estudios de Amenaza Sísmica ASPEAS., Observatorio Sismológico del Quindío, Universidad del Quindío

GARCIA, L. E., SARRIA, A., et al., (1.984). “Estudio general del Riesgo Sísmico de Colombia”. AIS (Asociación de Ingeniería Sísmica).

GARCIA, L.E.(1998). “Dinámica Estructural Aplicada al Diseño Sísmico”

GUZMAN, J. FRANCO, G. PARIS G., TABOADA A.(1997). “Evaluación Neotectónica para el Proyecto para la Mitigación del riesgo Sísmico de Pereira, Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal”. Carder. Pereira

GUZMAN, J. FRANCO, G. y OCHOA, M. (1998). Evaluación Neotectónica. Proyecto para la Mitigación del riesgo Sísmico de Pereira, Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal. Carder. 148 p.

INGEOMINAS (Instituto Nacional de Investigaciones en Geociencia, Minería y Química). El sismo de Popayán de 31 de Marzo de 1983. Santafé de Bogotá: INGEOMINAS,1986.

INGEOMINAS, (RSNC) “MAPA DE SISMICIDAD DE COLOMBIA DE 2000”. http://www.ingeominas.gov.co/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=7550&Itemid=1. Bogotá, Diciembre de 2000.

INGEOMINAS, CRQ, UNIVERSIDAD DEL QUINDIO, ALCALDIA DE ARMENIA, CREPAD. (1999). “Terremoto del Quindío (Enero 25 de 1999) Informe Técnico Científico”.

JARAMILLO, J.D. (1997). “Programa para el Cálculo de Perdidas por Sismo (PERCAL ver. 6). Departamento de Ingeniería Civil, Universidad EAFIT. Medellín.

JARAMILLO, Juan Diego. Percal, un modelo de vulnerabilidad urbana y escenarios de pérdidas - Caso Pereira, Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal. Conferencia en el Seminario Taller sobre Vulnerabilidad Sísmica y Escenarios de Riesgo. Pereira: CARDER, 2001.

MENA, U. (2002). “Evaluación del Riesgo Sísmico en Zonas Urbanas”. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona.

OJEDA, A.E. y MARTÍNEZ, S.E.(1997). “Modelo para la atenuación de la energía Sísmica en Colombia a partir de sismos registrados por la Red Nacional de Acelerógrafos”. XII Jornadas Estructurales de la Ingeniería de Colombia. Santafé de Bogotá. pp. 166-185.

ORDAZ, M., ARBOLEDA, J., SINGH, S. (1995). "A Scheme of Random Summation of an Empirical Green's Function to Estimate Ground Motions from Future Large Earthquakes". Bulletin of the Seismological Society of America, Vol 85, No 6.

PARIS, G. (2002). "Mapa de Fallas Activas de Colombia". Proyecto del Servicio Geológico de Estados Unidos USGS y Gabriel Paris Q.

RICHTER, Charles F. (1958). "Elementary Seismology". W.H. Freeman and Company.

RUBIANO, D.M., RODRIGUEZ, E., ALVARADO, C.A., (1999). "Modelación Dinámica del subsuelo y Zonificación Sismogeotécnica Indicativa de Armenia" X Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería Colombiana.

SARRIA, A. (1995). "INGENIERIA SISMICA". Ediciones Uniandes. Bogotá.

SARRIA, A. (2004). "Aspectos fundamentales de la Ingeniería Sísmica". Seminario Avances de la Ingeniería Sísmica, Vulnerabilidad, Prevención y rehabilitación de Estructuras. Asocreto. Pereira.

UNIVERSIDAD DEL QUINDIO, CRQ, INGEOMINAS. (1999)." Estudio de la Amenaza Sísmica del Eje Cafetero". Armenia.

WELLS, D.L. y COPPERSMITH, K.J.(1994). "New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Area and Surface Displacement. Bull". Seism. Soc. Am., vol 84, No. 4, pp 974-1002.